



TITLE:

# 電磁気学確立期におけるマクスウェリアンの役割 : O.Lodgeの業績を中心として

AUTHOR(S):

岡本, 正志

---

CITATION:

岡本, 正志. 電磁気学確立期におけるマクスウェリアンの役割 : O.Lodgeの業績を中心として. 物性研究 1999, 73(3): 423-476

ISSUE DATE:

1999-12-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/96753>

RIGHT:

## 電磁気学確立期におけるマクスウェリアンの役割

—O.Lodgeの業績を中心として—

大阪女子短期大学 岡本正志

(1999年10月31日受理)

### はしがき

今日の電磁気学は、Maxwell方程式を理論的基礎として様々な電磁気現象を説明している。しかしMaxwellの電磁理論は、当初から今日のように万能の理論だと見なされていたわけではなく、むしろ発表当時はそれほど多くの人が賛同したわけではなかった。それは、かのKelvin卿でさえ「私はMaxwell理論を理解できない」と述べていたことから裏付けられる。

このようなMaxwell理論が今日のように高い信頼を勝ち得るようになったのは、この理論の正当性を積極的に主張し広めようとしたマクスウェリアンとでも呼びうる科学者たちが存在したからであった。FitzGerald, Lodge, Heavisideという人々がそうであったが、しかし、わが国の電磁気学史研究においては、彼らは必ずしも高く評価されているわけではない。中でもLodgeはほとんど注目されることがない科学者であった。これは、Lodgeが当時としては高いレベルの電磁気学研究を行いつつも、今日からみれば、歴史的な意味での先駆的な発明や発見には到らなかったと考えられているからである。たとえば、Maxwell理論の正しさを証明したとされるHertzの電磁波発生実験の場合、Lodgeはそれを予想し、すでにほぼ同様な実験を行っていた(Ⅲ-3参照)。しかし不運なことに、直後に発表されたHertz実験のほうがより画期的であったがために、彼の実験は歴史の中では消え失せてしまったのである。もっともこのようなことは、歴史の中ではむしろ普通のできごとである。科学の歴史はこのような科学者の栄光と悲哀の集積だといってよいだろう。

しかし筆者がことさらにLodgeに注目するのは、悲哀をなめた側のLodge自身が、じつはHertz実験の成功とその意義を他の誰よりもよく理解し、よく訴えたからである。彼は、Hertzの実験の優位性を認めるやいなや、当時の物理学者たちにHertz実験の重要性を訴え、彼に注目するようにとアピールさえ行った。そのことによってHertz実験の本当の意義が科学者社会に伝えられ、Hertzの名声を高めることになったのである。

Heavisideの才能を見だし、彼を世の中に紹介したのもLodgeであった(V参照)。FitzGeraldのエーテル理論を積極的に評価したのもLodgeであり、ゼーマン効果の正しさを検証し英国に紹介したのもLodgeである(Ⅲ-2参照)。さらに付け加えれば、長岡半太郎の土星型原子モデルはLodgeの講演からヒントを得ており、Lodgeはまた長岡のモデルを欧米社会に紹介した科学者の一人でもあった(VI参照)。彼の文献を読むと、どのような場合にも、他人のプライオリティを尊重し、すぐれた業績を丁寧に紹介している。Lodgeはあくまでも公平で真摯な姿勢を保った希有な科学者で

あった。

本研究では、科学理論が科学者社会の中でどのように確立してゆくかという点に焦点がおかれている。なかでもこれまで光を当てられることのなかったO.Lodgeを評価しなおし、Maxwell電磁理論の確立過程の中に正当に位置づけようとするものである。読者のご批判ご叱正をお願いしたい。

なお本稿は、拙稿『19世紀後半におけるMaxwell電磁理論の確立過程に関する研究』（文部省科研費研究成果報告書，1998.12）に加筆訂正したものである。本誌編集委員早川尚男先生から、元の報告書を採録しようという有り難いお申し出があったので、加筆訂正のお許しを願った上で掲載していただくことになった。このような機会を与えて下さった「物性研究」編集委員会と、様々な便宜をはかって下さった早川尚男先生に御礼申し上げたい。

## 目次

電磁気学確立期におけるマクスウェリアンの役割 .....	423
はしがき .....	423
目次 .....	424
I. Maxwell電磁理論の形成過程とマクスウェリアン .....	425
1. 19世紀S T S革命と電磁気学史研究の意義 .....	425
2. わが国における電磁気学史研究 .....	427
3. マクスウェリアンの役割 .....	430
II. Maxwell電磁理論の形成過程 .....	433
1. Maxwellの三つの論文 .....	433
2. Maxwell's Dynamic Theory of Electromagnetic Field (1864)の構造 .....	434
3. Maxwell方程式の <i>Treatise</i> における表現 .....	438
4. Heavisideの方法 .....	441
III. Lodgeの生涯と業績 .....	443
1. Lodgeの著作 .....	443
2. Lodgeの活動 .....	446
3. Maxwellモデル .....	448
4. 電磁波検証実験 .....	451
5. エーテル実験 .....	454
IV. Hertz, Lodge以前の電磁波検証実験 .....	458
1. Joseph Henry(1797-1878) の1842年の実験 .....	458
2. David Edward Hughes (1831-1900)の実験 .....	459

V. 電磁気学確立期における Sir O.Lodge と O.Heaviside .....	460
1. O. Lodgeと科学の場 .....	460
2. LodgeによるHeavisideの発見 .....	461
VI. 長岡モデルとO.Lodge .....	466
VII. Lodgeの業績についての最近の研究 .....	470
あとがき .....	472
註 .....	473

## I. Maxwell電磁理論の形成過程とマクスウェリアン

### 1. 19世紀STS革命と電磁気学史研究の意義

19世紀はそれまでの人類の歩みを根本的に変えてしまうほどの大きな変化が生じた時代であった。この時期の科学には、それ以前とは異なった新しい様相が現れてくる。第一に、熱学や電磁気学に象徴されるように、古い伝統的な学問分野にくわえて新たな分野が続々と出現した。現在の様々な学問分科は、そのほとんどが19世紀に出現したものだといってよいだろう。

第二に、この時期の科学は技術との連携を急速に深めた。産業革命の中で手に入れた熱エネルギーと機械、それによる機械制大工業の出現が、人類の労働形態を大きく変え新しい時代を作ることになった。それはやがて新興国アメリカを軸とする大量生産という方式を産みだし、チャップリンの描くモダンタイムズの世界に突入することになる。このような労働と生産の変化は、第三の特徴を生み出すことになった。

新たに登場した技術は、徒弟的経験的に修得できるようなものではなかった。たとえば化学工業とか電気・電信産業などを考えれば分かるように、それらは、勃興しつつある新しい分野の知識の獲得によって始めて我がものとする性質のものであった。つまり、新しく登場した産業と社会は、かつてなら親方のもとで一定の修行をつみながら自立していった技術者を、学校という組織的な営みで集中的に訓練するようにしむけることになったのである。ここで重要なのは、そのような過程に即応してこの分野の専門的な研究を生業とし、その教育を担当する人々が登場してきたということである。scientistという言葉がヒューエルによって創られたのは、このような状況の特異性を反映しているといえなければならない。

さて、科学革命、産業革命に引き続く19世紀のこの変革は、単に科学や技術あるいは社会だけの変化を取り上げて特徴づけるようなものではない。この三者が互いに絡み合いながらダイナミックな変動を生み出しているという意味で、これをSTS(Science-Technology-Society)革命と称すること

ができる<sup>2)</sup>。しかも、今日の我々の社会的営みを振り返ってみたとき、その基本的枠組みのほとんどが、このSTS革命によって生じた変化によっているのを知るのである。

たとえば、今日では当然であるような義務教育制度は、19世紀以前では世界のどこの地域においても存在しなかった。もちろん、教育という営みそのものは古代から存在していたが、それは基本的にはプライベートなものであり、家庭教師や私塾という形式で、あるいは聖職者のような特殊な立場の人間に対する学びの場などという形式で存在したものであった。わが国でいえば、江戸時代の寺子屋や藩校などがそれにあたる。そのような状況が、なぜ19世紀において今日のような制度としての学校を持つ社会に変容したのかは、じつはより詳しく検討すべき重要な事柄である。

あるいは、論文形式によって研究内容を報告し、それが「業績」として認められるなどという事柄が生じたのも、19世紀以降の社会のできごとである。俗に言う *Publish, or perish!* という概念は、19世紀ドイツにおける文部官僚の大学人事への介入が端緒となって登場したものだといわれる<sup>3)</sup>。

このようなことから見れば、19世紀STS革命を検討することは、じつは今日の社会を再検討する重要なテーマであり、19世紀科学史の研究が、その重要な一部分となっていることが理解できるであろう。もっともそのためには、科学史研究においても、単なる学説史的なアプローチだけではその目的を達し得ないので、より社会史的なアプローチが必要となるであろう。そのような検討はまだ十分に行われているとはいいがたい。

ところで、これらの変化に中心的な役割を果たしたのが電磁気学である。電磁気学は、1800年のボルタ電池の発明以降飛躍的に発展するが、1820年のエールステッドによる電流の磁気効果の発見によって、本当の意味で電磁気学が登場することになる。そして、通信や電力など産業のもっとも重要な柱となって、現在では、それなくして生きてゆくことさえ困難なほど重要な位置を占めることになった。このような電磁気学の発展過程をみれば、19世紀に新しく登場し、科学と技術とが強い絆を結びその結果が社会に大きな影響を与えた分野であるということ、電磁気学を主として研究する科学者と電気技術者という新しい専門家を産みだし、しかもその教育や啓蒙、あるいは相互交流のためにテキストや雑誌、会員組織などが造られてゆくということなど、まさに19世紀科学技術の特徴を典型的に顕現している分野であることが分かる。したがって電磁気学史の詳細な分析は、STS革命を検討するうえでも、とりわけ重要な意味をもつことになるだろう。

本稿では、以上に述べてきたことを頭の隅におきながら、19世紀電磁気学史の中で、とくにMaxwell電磁気学が科学者社会の中に認知されていく際に大きな役割を果たした人々のことをとりあげる。それらがわが国の科学史研究の中ではあまり触れられてこなかったことを指摘し、Maxwell理論の普及に大きな役割をはたした人々、とりわけOliver Lodge について紹介する。

## 2. わが国における電磁気学史研究

今日の電磁気学は、Maxwell方程式によって基礎づけられている。したがって、J.C.Maxwellがいかにしてその理論を作り上げたのかが、電磁気学史上のもっとも魅力的なテーマであり、多くの研究がそれに焦点を当てることになる。しかし、Maxwellがその理論を提出したとき、必ずしもそれがすぐに認められたわけではないこともよく知られている。数学的難解さと共に、電磁波説への疑問も根強く存在した。たとえばKelvinの次のようなことばはそれをよく物語っている。

私は、私のしらべている対象について、その機械的模型を作り上げるまでは、どうしても満足できない。もしそれを一つ完成できさえすれば理解するし、そうでなければ理解できない。であるから、私には光の電磁波説はどうしてもよくわからない。私は、私のよく理解できないものを導入することなしに、光というものをできるだけよくわかりたいと望んでいる。だから、私は電磁波説によってではなく、単純な力学によってこそ、模型を見出すことができるにちがいないと信じている。<sup>4)</sup>

このようなMaxwell理論は、1855年から1864年にかけて三本の重要な論文として発表されたあと、1873年にいたって *Treatise on Electricity and Magnetism* として集大成される。この書は1000頁にも及ぶ大著であるが、その分厚さばかりでなく、数学的展開の難しさゆえに最後まで読み通すことは至難の業である。ところで興味深いことに、この書物の中で定式化されるMaxwellの方程式は、A式からL式までの12の方程式から構成されている<sup>5)</sup>。つまり、Maxwell自身が、現在のわれわれが学ぶような整理された形で自らの方程式を捉えていなかったことが分かるのである。そしてMaxwellは自らの手でその理論を整理することなく49才の若さでこの世を去った。

このように見てくれば、Maxwell以降においてその電磁気理論を今日のような形に完成させ、しかもそれを当時の科学者社会に認めさせたものについて眼を注ぐことが重要となる。この時期のことを「Maxwell電磁理論の確立期」と呼ぶことにしておこう。

じつのところ、Maxwell電磁気学には、当時の人々がすぐに納得できないいくつかの問題点が存在した。すでに述べた数学の難解さや場の概念の混乱もその一つであるが、また、理論そのものにも遠隔作用説の残滓ともいえるべきポテンシャルが使用されていた。さらには、Maxwellの創見による変位電流という概念を、当時の物理学者がすぐには認めることができなかったことなどが上げられるであろう。Maxwell理論を再構成してこれらの問題点を解決することなしには、その理論が受け入れられることはなかったのである。

一般には、Hertzの電磁波の存在証明によってMaxwell理論の正しさが認められ、それによってMaxwell電磁気学が揺るぎないものとなったかのように述べられる。ところが、Hertzの実験への反響は、ドイツ国内よりもむしろ英国で大きく、Hertz自身、英国での反響に驚き“英国の人々が、こ

れら（Hertzの実験）をよく知っていると言いだし、そして電磁波を実際に検出することは不必要だと見なすのではないかと恐れている”とG.F.FitzGeraldに述べたほどである<sup>6)</sup>。

このような英国におけるHertz実験受け入れの様子が、じつはMaxwell理論が科学者社会の中で不動の地位をうるようになる過程を象徴的に物語るものだと言ってよいだろう。そこには、これを積極的に喧伝したマクスウェリアンとでもいうべき人々が存在した。FitzGerald, Lodge, Heavisideというこれらの人々は、Maxwell理論を再構成し電磁波の実験的検証に取り組み、さらにはHertzの実験の意義をもっとも早く理解した人々であった。彼らの存在と活動こそが、Maxwell理論を不動の地位に登らせたといつて良いだろう。ところが、わが国の科学史の書物には、そのようなマクスウェリアンの姿はほとんど登場しない。

たとえば『科学史技術史事典』を見てみると、FitzGeraldについて“HeavisideやH.Hertz, A.Lorentzなどと並んで、Maxwellの電磁気理論を深くとらえて展開しようとした一人である。しかし、彼の名前を後世に残し有名にしたのは、むしろ電磁理論そのものの展開ではなく、マイケルソン・モーリの実験の否定的結果の説明のために提出された「短縮仮説」である”と述べられていて<sup>7)</sup>、マクスウェリアンとしてよりは、相対論に貢献した科学者として認められていることが分かる。Lodgeに至っては、項目としては採録されておらず、わずかに「電波伝搬」の項に電磁波の実証実験を行おうとした人物の一人として、FitzGeraldやHertzと共に名前があげられているにすぎない。

それでは、わが国の電磁気学史研究の中で、それらについて詳細な分析を行ったものがあるのだろうか。わが国のこれまでの電磁気学史研究では、広重徹や板倉聖宣、矢島祐利などの研究が代表的なものであるので、彼らの研究においてMaxwell電磁理論の確立期がどのように捉えられているのか見ておこう。

広重徹は、「古典電磁気学と相対性理論」（『科学史研究』、第52号、1959）において、当時の科学者のエーテル概念理解の状況について触れ、それがいかにして今日概念へと発展したのかを分析している<sup>8)</sup>。この論文には、彼の科学史研究における方法論的批判が強く出されていて、Maxwell理論についても次のような問題意識が述べられている。

多くの史実のなかから今日の教科書に書かれているのと同じ部分だけを他からきりはなしでとりだし、そうしてとりだされたものの現代的表現を適当に配列して歴史を云々することは、正しい科学史の立場でない。問題は、Maxwellを含めて当時の物理学者が、Maxwell理論をどのようなものとして理解し、それを今後どのような方向に発展させるべきだと考えていたか、ということである。<sup>9)</sup>

彼は、このように方法論的批判を正しく行っただけで、Maxwellの *Treatise* やブリタニカに執筆したEtherを分析して、Maxwellの電磁場観は、まだ物質から切り離されていない未熟なものだっ

たと指摘しつつ、彼と同時代の物理学者もまた、電磁場を“物質の特殊状態”だと理解していたと分析している。このような当時の場の概念を、物質から切り離した物理的実在と捉えたのは Hertz ではなく Lorentz であったが、彼は、Lorentz と比較して Hertz を“完全にことがらの本質をつかみ損ねていた”<sup>10)</sup>とまで評している。もっとも Lorentz は電磁場の dynamical な内容は把握したものの、kinematics の考察が欠けていたために相対論には到達できなかったのだ、というのが彼の最終的な結論である。

このようにして広重論文では、Maxwell をも含めたその時代の物理学者が、現在の我々とは違った理解をしていることを示してはいるが、では Maxwell 電磁気学が当時の人々にいかにして認められるようになったのかについては明らかではないし、とくに Lodge についてはまったく触れられていない。しかし後に見るように（第三章－4 参照）、Lodge はエーテルに関しても有名な実験を行い、重要な貢献をしているのである。

もっとも信頼に足る物理学史の書物として喧伝される広重徹『物理学史』では、Lodge はどのように扱われているのだろうか。じつは、ここでもわずか 2 カ所に登場するにすぎない。ひとつは、Maxwell による電磁波実証についての彼の実験について、あと一つは、Zeeman 効果の発見に際して、Larmor が Lodge に追試を依頼し Lodge が確認したことの記述が見えるだけである<sup>11)</sup>。ちなみに、広重と電磁場概念に関する論争を起こした板倉聖宣の論文では、ドイツにおける Helmholtz の役割については触れているものの、わずかに“当初これ（Maxwell 理論）を支持したのは主にケンブリッジの若い人の他はごくわずかのの人々だけであった”<sup>12)</sup>と触れているだけである。

電磁気学史を正面から扱った著作として矢島祐利の 2 冊の労作があるが、ここでも事情は同様である。『電磁気学史』には Lodge も FitzGerald もまったく登場しないし、『電磁理論の発展史』には、FitzGerald がやはりローレンツ収縮に関連して登場するだけである<sup>13)</sup>。矢島の著作は、電磁気学史研究の乏しいわが国における貴重な著作であり、とくに後者はかなり詳しく理論形成史を扱った良書であるが、マクスウェリアンに対する視点というものがまったく欠落しているのは、矢島個人の限界というよりも、当時の科学史研究の状況を反映しているとみるべきであろう。

このように、マクスウェリアン、なかでも Lodge についてはわが国ではほとんど注目されていない科学者だといってよいだろう。このような評価は科学者としての業績という点からみれば必ずしも間違っているわけではない。しかし、後に見るようにひとたび Maxwell 理論がいかにして科学者社会の中でパラダイムとしての地位を得るようになったのか、という観点から見れば、Lodge の働きはきわめて大きいものであった。

Heaviside においても事情はそれほど変わらない。もちろん彼が Maxwell 方程式を整理したことはよく知られているが、その評価は必ずしも大きなものではない。たとえば広重は、彼が Maxwell 方程式中のポテンシャルを消去し現在のような形式に整理したことについては触れているが、しかし“（この方程式の）意義がただちに認められるにいたらなかったし、Heaviside 自身、ポテンシャル



を消去することの意味をつつこんで論じようとはしなかった”と否定的に紹介している。広重はむしろHertzの1890年論文を積極的に評価し、彼こそ“電磁場理論の発展に大きな貢献をした”<sup>14)</sup>とするのである。

しかし上述したように、Hertz実験の意義をもっともよく理解し、それを大きく宣伝したのは、まさにHeavisideを含むマクスウェリアンたちであったことを見逃してはならない。彼らの強い働きかけがなかったなら、Maxwell理論がパラダイムとしての地位を得るまでには、まだかなりの時間がかかっただろう。最初に引用したように、かのKelvinでさえ、Maxwellの考えを信じられなかったのである。したがって、STS的視点を重視すれば、マクスウェリアン達にも光があてられねばなるまい。

ところで、Whittakerの書物になるとさすがによく書き込まれている。Heavisideには至るところで触れており彼の理論的貢献の様子がよく分かる。FitzGeraldはもちろん、Lodgeにも数多く触れられており、彼がHeavisideやFitzGeraldと頻繁なやりとりを行っていたことがうかがわれる<sup>15)</sup>。この書物は当時の理論展開を詳細に追っていてきわめて有益ではあるが、しかし、その視点はやはり理論形成に偏っている。今しがたLodgeにも数多く触れていると述べたものの、そのほとんどは傍証的に引用されたものであり、Lodge自身の活動を明らかにしているものではない。このように、FitzGeraldやLodge、Heavisideなどの活動を詳しく知りうる日本語文献はきわめて少ない。

ところで、欧米に眼を向けてみると事情はまったく異なっている。たとえば、B.J.Huntの *The Maxwellians*<sup>16)</sup>、この書物はタイトル通り、FitzGeraldやLodge、Heavisideなどの当時の活動をテーマとした優れた著作である。またP.J.Nahin, *Oliver Heaviside*<sup>17)</sup>や、I.Yavetz, *From Obscurity to Enigma*<sup>18)</sup>は、Heavisideを中心に当時の電磁気学の状況をいきいきと描いている。筆者が彼らマクスウェリアン達についてのイメージを描くことが可能になったのは、じつはこれらの著作のおかげである。次節において、とくにFitzGeraldとLodgeについて、Hertzの実験やエーテル実験などのプライオリティ問題を中心に、当時の物理学者が彼らをどのように見ていたのかを明らかにしてみよう。

### 3. マクスウェリアンの役割

Lodgeが、Hertzに先駆けて同様な問題意識を持ち、実験を行っていたことは明らかである。彼はすでに1879年に電磁波の発生について考え始めている（後述Ⅲ章－4参照）。

1888年のはじめになって、彼はロンドン技芸協会からRobert Mannの記念講演の依頼を受け、実験を交えた避雷に関する2つの講演を行った。そこで、電磁波が電線に沿って発生するが、電線の長さや放電の発振時間を適切に調節すれば、定在波を生じスパークが劇的に生ずることを発見した<sup>19)</sup>。彼は講演後も実験を進めて、それを*Philosophical Magazine* に投稿し、さらにHeaviside理論を紹介しながら、より理論的に電磁放射を考察した論文を*The Electrician* に投稿している<sup>20)</sup>。この実験は、Hertzのように空気中に電磁波を放出する実験ではなかったが、理論的にはそれを予測し、電線に沿

ってではあっても実験的に電磁波発生を実証するものとなっており、しかもこの電磁波が光と同じ性質を持っていることを明らかにしていた<sup>21)</sup>。したがって、彼の実験がほとんどHertzに近いところまで進んでいたことは確認できるであろう。

当時の人々は、これをどのように評価していたのだろうか。

たとえば、Kelvinは、Hertz論文集の英訳版の序で、Hertzの実験に至るまでの電磁気学の歩みを歴史的にたどり、そこで“Oliver Lodge教授自身も避雷針に関する研究で、見事な業績をあげている。それは電磁波のデモンストレーション実験にほとんど近いものであった”と述べて、Lodgeの実験の意義を指摘している。彼は、続けてFitzGeraldの1883年のBAでの発表の言葉をそのまま引用して“これは輝かしいそして有益なサジェスションである”<sup>22)</sup>とも述べている。

当事者Hertzの言葉を聞いてみよう。Hertzは、自らの論文集の序文で次のように述べている。

ここで、イギリスの仲間が行った良い仕事を記録しておくことをお許し願いたい。彼らは、私と同時期に同じ結論に向かって努力していた。私が上に述べた研究を行っていた同じ年に、リバプールのOliver Lodge教授が避雷針の理論を研究していた。そして、これと関連して小さなコンデンサ、それは彼を電線上での波の発信の観察に向かわすことになったものだが、この放電に関する一連の実験を行っていた。・・・もし私が彼に先んじなかったとしたら、彼もまた空気中での波を観察することに成功していただろうし、またそのようにしてやがて電気力の伝搬を証明することに成功していただろうということは、なんら疑う余地もないことである。ダブリンのFitzGerald教授は、数年前に、理論の助けをかりてこのような波の可能性を予言し、その波を発生させる条件を発見するように努めていた。私自身の研究はこれらの物理学者たちの研究に影響を受けたものではなかった。<sup>23)</sup>

Hertz自身、自らのプライオリティについて主張しながらも、LodgeやFitzGeraldがほとんど同じ地点に立っていたことを認めているのが分かるであろう。

ところで、このように英国人であるLodgeらが、いわば歴史的に重要な研究を行っていたにもかかわらず、Hertzの実験が発表されるや否や、それは本国のドイツよりもむしろ英国で大評判になった。当時大陸側では、Weberなどの遠隔作用説に基づく電気力学派が優勢であり、近接作用説は少数派であったのだから、ドイツにおいてHertzの実験に注目が集まりにくかったという事情は理解できる。しかし、英国では、もし同様なレベルの実験がドイツと英国とで同時に行われておれば、同国人の実験のほうをより強く主張することになるのが自然なはずである。Kelvinが、Hertzの論文集でLodgeやFitzGeraldの業績のことをあえて紹介したのも、同国人の業績への肩入れという面があると思われる。にもかかわらず、英国ではドイツ人Hertzの実験の評判が一気に高まるのである。いったい、なぜなのだろうか。

それは、英国では、Hertzの実験がMaxwell理論を証明する画期的なものであることをいち早く見抜き、その意義を科学者社会の中に大々的に宣伝した人々が存在したからである。FitzGerald, Lodgeらこそが、そうした人々であった。

Hertzの実験を最初に英国に紹介したのはFitzGeraldであった。彼は1888年9月Bathで開催されたB A（英国科学振興協会）の年会で、Arthur Schusterの代役として「物理と数学」のセッションの議長となった。その議長演説で、彼はHertz実験を紹介して次のように述べている。

（この同じB Aの議長演説で）偉大なるClerk Maxwellは、電磁現象が遠隔作用によるのか近接作用によるのかは未決定の問いだと演説した。1888年という年は、この重要な問いがドイツのHertzによって実験的に検証されたと年としてずっと記憶されることになるだろう ... YoungとFresnellの光の干渉に関する研究が光学の波動理論を証明したように、Hertzの実験は、電磁気のエーテル理論を証明している。それは素晴らしい結果だ。これからは、どのような学習者も、電磁気的作用は空間中に充満する媒体によるのだという、もはや仮説ではなくなったこの理論に深い感銘を覚えることになるだろう。<sup>24)</sup>

Lodgeのほうは、自らの実験結果を投稿した後でチロルに休暇に出かけるが、持参したHertzの論文を旅行中の列車の中で読み、それが自分の実験と本質的に同じ実験でありながらも、より洗練され優れたものであることを知って落胆する。しかし、にもかかわらず旅行先からすぐに*Philosophical Magazine* に対して、Hertz論文に注目するようにという追伸を投稿している。

追伸： 私が上の論文を書いてから、Wiedemann's Annalen 7月号のHertz博士の論文を読んだ。そこで彼は、コイル放電によるエーテル波の存在とその波長を確認している。すなわち、エーテル波を定在波にして行ったものだが、それは私のやったような電線に沿って伝わったパルスを電線の自由端で反射させる方法ではなく、電導的壁の表面で自由空間に波を反射させる方法で行われている。

私の友人であるChattockもまたPhysical Societyで行われた最近の実験について手紙をくれた。それが誰によるのかは不明なのだが、その実験では1キロメートルのエーテル波を励起させた同じ放電が、1ミリメートルの空気波を励起させうるとのことである。電氣的放電のすべての主題が見事に解決しているように思われる。

Cortina, Tyrol, July 24, 1888 <sup>25)</sup>

彼の投稿は1888年7月24日付けであるから、Bathの年会のずっと前である。

LodgeとFitzGeraldとは、その10年ほど前に知り合い、“兄弟のように”<sup>26)</sup>敬愛しあう親友となって

いた。二人とも、Maxwell電磁気学に確信をもっており、それが正当に認められることを願っていた。したがって、共にMaxwell陣営のための論陣をはり、電磁波の発生実験をその実証として行おうと考えていたのである。後述するように、LodgeはMaxwellの変位電流モデル（Ⅲ－3 参照）を作り、電磁波の発生については1874年頃から検討していた（Ⅲ－4 参照）。FitzGeraldはLodgeと共に理論的な検討を行い、1883年には電磁波発生の可能性についての先駆的な提案をしていた。Hertzの実験がそのような文脈の中で登場したのであるから、その意義を二人がもっとも良く理解したのは当然である。それが、Hertz実験を大きく宣伝する行為となったと考えてよいだろう。

彼らにHeavisideが加わり、Maxwell理論の再構築が行われた。とくに、Heavisideの数学的な改良によって、Maxwell理論はやっと明白な姿を現すことができた。現在、Maxwell方程式と呼ばれるものは4つの方程式の組み合わせで構成されているが、そのように整理したのはHeavisideである（Ⅱ－4、「Heavisideの方法」参照）。最初に述べたように、Maxwell自身はそうに把握できていなかった。また、現在使用されているgrad, rot, divなどのベクトル解析の記号もHeavisideが工夫したものである。したがって、Maxwell方程式はMaxwell-Heaviside方程式と呼ぶべきである。

Heavisideは変人ともいうべき人物で、学界とも深く関わらず孤高を保った人生をおくった。彼を認め、仲間として支援したのがFitzGeraldとLodgeである（Ⅴ章 参照）。

## II. Maxwell電磁理論の形成過程<sup>27)</sup>

### 1. Maxwellの三つの論文

Maxwell理論は、3つの論文によって徐々に完成していった<sup>28)</sup>。第一論文は「ファラデーの力線についてOn Faraday's Lines of Force (1855)」，第二論文は「物理的力線についてOn Physical Lines of Force (1861)」，第三論文は「電磁場の動力的理論A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1864)」と名付けられている。これら三つの論文に基づき最終的には『電気磁気論 A Treatise on Electricity and Magnetism (1873)』という全2巻の大著として集大成した。

第一論文では、題名通りFaradayの力線についてのMaxwellの解釈と数学的表現が行われた。ここで彼は物理的アナロジーの重要性を指摘して、物理学の他の分野同士の部分類似性在他方に光を当てるのだと述べて<sup>29)</sup>，そのようなアナロジーとして非圧縮性流体を仮定し，これによって電磁気的現象が説明できることを示している。

この論文のPart 2 では、Faradayの電気緊張状態 (Electro-tonic State)について論じている。そこでは薄い球殻上での電磁気現象を扱っているが、アナロジーよりもむしろ数学的に展開して、電気緊張関数 (electro-tonic function 現在のベクトル・ポテンシャル)を導き出している。このようにして、Maxwellはファラデーの得た概念を継承し、それをまず数学的に発展させたのである。

第二論文では、彼の有名な磁力線の渦モデルが提出される。これは物理的アナロジーの典型例ともいえるもので、彼はこれによってFaradayの力線モデルを凌駕し、そこから彼の独創である変位電流の概念を導き出すことができた。電流は、物質内部の渦間にある粒子の移動として捉えられているが、誘電体内では粒子は自由に動くことができない。しかし起電力によって力を受けた粒子は渦の周囲をいくらかは移動（変位）し、それによって渦を変形させ、渦の弾性による力とつりあったところで静止する。この粒子の変位分が電流的効果を生むと考え、変位電流と名付けたのである。この概念はエーテルにも援用されて、第三論文において光の電磁理論を導き出すことにつながり、きわめて重要な役割を果たした。

最後の第三論文は、それまでの分析を理論的に完成させたものである。Maxwellは、それまでに創りあげてきたモデルを、ここではすっかり取り払って数理解析的手法のみによって電磁理論を完成したと評価されている<sup>30)</sup>。しかも、この第三論文において光の電磁波仮説が唱えられて、やがてそれはHertz実験によって検証されたために、一挙にMaxwell理論の正しさを多くの科学者が承認することになったというわけである。

Maxwell理論は、このようにして形成され確立されたのであるが、そこでは、物理的アナロジーとともに、Maxwellの数理的方法の持つ意義が強く主張されている。方程式から予言が生みだされ、やがてそれが実証されるという数理解析の素晴らしい成功例として語られているといってもよいだろう。

しかしながら、実際にMaxwell理論が提起され確立されるまでを調べてみれば、そのように理想化して語れるほど、事態は単純ではなかった。たとえば、数学的手法が強く主張される第三論文においてさえ、Maxwellはそれまでの経験事実やアナロジーを十分に踏まえて議論しており、決してモデルをすっかり取り払ったわけではない。またMaxwell理論を検証したといわれるHertzの電磁波検証実験についても、評価されたのは当のドイツではなく、英国においてであった。そこには、理論の実験による検証といった単純な図式だけでは見えない科学の場というものが存在している。

したがって以下では、Maxwell理論の成立過程と、それが科学者社会の中に確立される過程の二つに分けて調べてみることにする。前者については、Maxwellの数学的手法が喧伝される第三論文の構造を詳しく見ることによって、後者については、Hertz前後の電磁波検証実験の様子とその科学者社会での反応を見ながら分析することにしたい。

## 2. Maxwell's Dynamic Theory of Electromagnetic Field (1864)の構造

先に述べたように、Maxwellは第二論文までに創りあげてきた力学的モデルを、第三論文においてあっさりと捨て去り、そこでは数学的演繹的な扱いによって理論構築が行われたと評価される。しかも、このような通説的評価は、数学的方法の生産的機能の典型として、たとえば次のように語られる。

このマクスウェルの考えは経験の側から直接推察されたのではなく、電磁気理論の記号関係の独自の解釈によってもたらされたものである。これは記号体系の解釈が新しい物理的実在を予測させるという記号体系じたいの生産性を示している<sup>31)</sup>

数学的方法が独自にもつ生産性は決して否定されるべきものではないが、しかし上の引用のように、はたしてMaxwellは経験からではなく、記号体系の解釈から光の電磁波説を唱えたのであろうか。結論を先に述べれば、このような評価は事実としても間違ったものである。以下に述べるように、Maxwellは光の電磁波説を数学から導き出したのではなく、彼にとっては、むしろ現象こそが仮説提起の根拠となっているのである。

Maxwellの第三論文は、二つの部分からなっている。Part 1はこの論文の基本的な考え方を丁寧に述べたものであり、Part 2で数学的に検討してMaxwell理論を定式化しているが、このPart 1を読むと、上述の通説とは違ってイメージ豊かに基本構想を述べているのがわかる。その部分の叙述を整理してダイアグラム化したものが（図－1）である。ダイアグラムは、パラグラフの内容を簡略化してカード化し、論文の叙述の流れと内容に即して構造化してある。できあがった構造の特徴がわかるように、それぞれ適当にタイトルをつけておいた。このダイアグラムの矢印方向の流れは、第三論文Part 1の叙述の流れに即してつけているので、図の左下「現象と旧説」から右上の「検証」に至るまで、Maxwell論文は矢印通りに展開されているわけである。また、論旨の展開が、現象から出発して仮説やモデルを作ったりするような場合は濃い灰色の矢印で示し、逆に理論展開を現象と比較したりしている場合には薄い灰色の矢印、仮説やモデルなど理論と理論とを比較したり発展させたりしているような場合には縦線を入れた矢印で表すようにした。ここで述べた「現象」とか「理論」は、それぞれ「観察事実や実験事実」、「仮説やモデルや理論的考察」と見なせる場合のことを示している。なお、Maxwellの原論文にはパラグラフ毎に番号がふられているので、それをこの中に入れることも可能であるが、煩雑であるので省略した。

論旨の展開は左下「現象と旧説」から始まるが、そこでは電磁気のもっとも基本的な現象である「物体への相互作用」をとりあげ、それを説明する旧説（遠隔作用説）を紹介している。しかしこの理論では、「電荷間に働く力は、お互いの相対距離に依存する」という実験事実と、理論の根拠である遠隔作用の概念とが矛盾する。そこで、途中の媒質が本質的な役割を果たすとみなす近接作用説の必要性を主張し（「矛盾（新説の必要性）」）、その際、物体に相互作用を及ぼすような力の源をどこに求めるのかを問いかける（「問題（力の源を問う）」）。つぎに、それを説明する媒質の弾性体モデルを提出して（「仮説とモデル」）、あとは、仮説に基づきモデルの特徴を整理し数式化して彼の理論を創りあげたわけである（「理論化」）。できあがった理論は、その理論の内容と実験や観察から得られる事実とを照合して検証されるが、そのために、MaxwellはすでにFaraday

# Maxwell's Dynamical Theoryの構成

作成日：1998.9.11改訂  
作成者：岡本正志

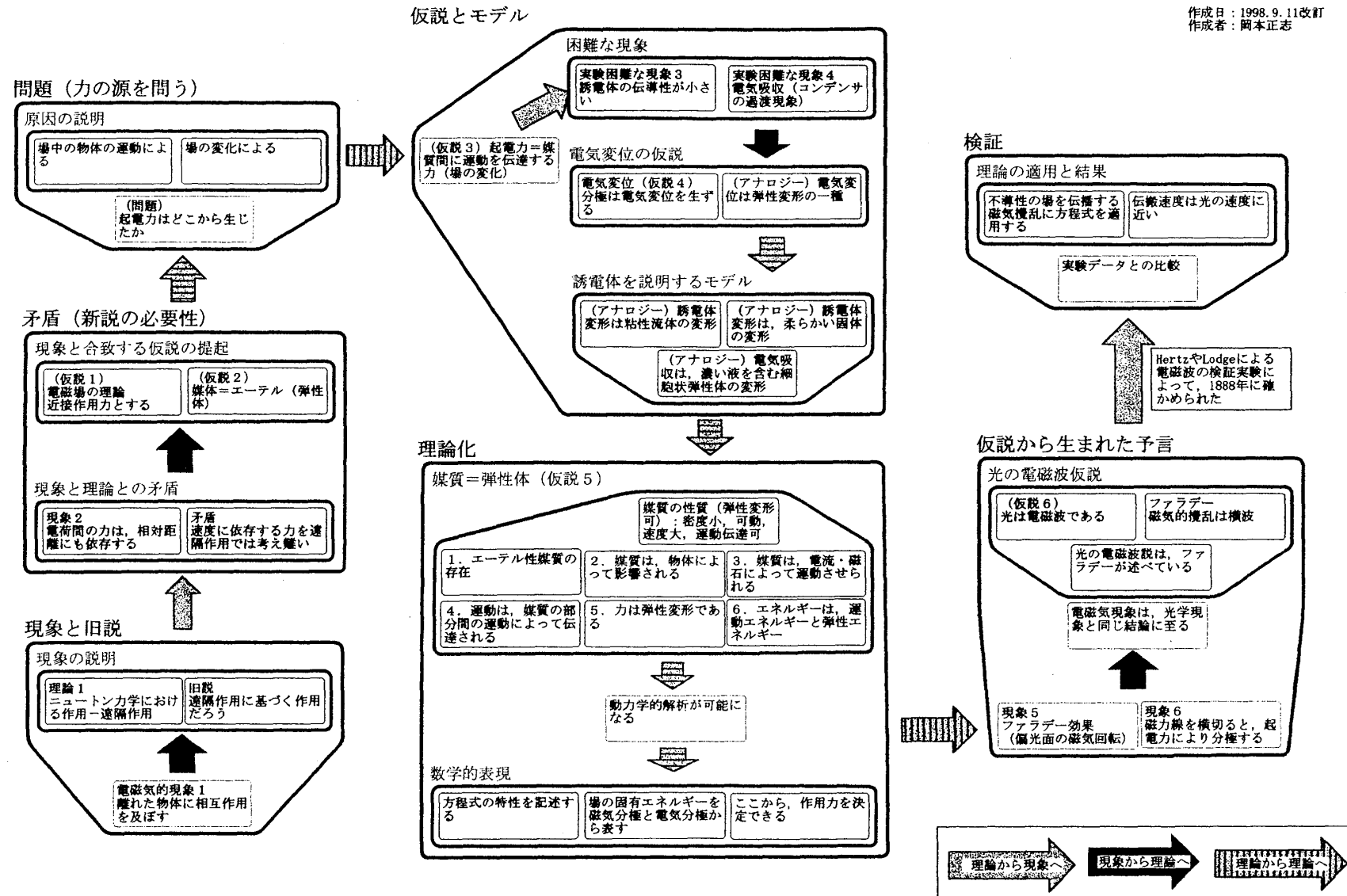


図-1 Maxwell第三論文 ( Dynamical Theory ) の構成

も指摘していた電磁気現象と光との類似性を一步進めて電磁波仮説を提案（「仮説から生まれた予言」）すると共に、この理論をいくつかの現象に適用して実験事実とよいオーダーで合致すると述べている（「検証」）。

なお、図の中に注記してあるように、電磁波仮説はHertzやLodgeによって後に検証された。

さて以上からもわかるように、この論文は決してそれまでの力学的モデルを捨て去っているのではなく、明らかにそれらに基づいて議論されている。第二論文の渦モデルのような具体的な展開をしていないけれども、細胞状弾性体的なアナロジーで誘電体媒質を特徴づけながら理論化している。しかも、重要なことは、論理展開のあちこちで常に現象との比較照合がなされながら整合的な方向へと議論を進めていることである。たとえば、議論の出発はまず現象的事実からである。そしてそれを説明する旧説に対しても現象的事実から問題点をあげている（事実1，矛盾1）。仮説やモデルを作る際にも、たとえば電気吸収などの現象をあげ、それらを説明するモデルを提起している。最後の光の電磁波説を論じる際にも、ファラデー効果などの現象から電磁気現象と光の現象との類似性を指摘しており、しかも、Faradayがすでにそのような指摘をしていることを引用しながら光の電磁波説を提出している。理論の数学的展開のみから光の電磁波仮説が導き出されたわけではないことは明白である。実際、Maxwellは第三論文より以前に光の電磁波説を考えていた。1861年10月19日のFaraday宛書簡には次のように書かれている。

私の電気力の理論とは、絶縁体内では、わずかな電気的変位が起こることによって電気力が働くようになるというものです...球状のセルはそのような変位によってひずみます...球の弾性は、その周囲の電気的物質に作用し、それを下方に押すでしょう。コールラウシュとウェーバーによる、電気の静電的効果と磁氣的効果との間の数値的關係から、空気の媒質の弾性を決定し、それを光のエーテルと同じであると仮定して、横振動の伝搬速度を決定していました。結果は毎秒193,088マイルです。フィゾーは直接実験から光速 $\text{度}=193,118$ マイルを決定しました。この事情は、単に数値的なものではありません。...今や光のエーテルと電磁氣的媒質とは同一であるという私の理論が事実であると信ずる十分な理由を得たと思います。<sup>32)</sup>

Maxwellが、光と電磁氣的現象との同一性を思いついたのは、決して数学的形式の中からではない。Faraday以来の実験的事実を照らし合わせればすでにその同一性が暗示されており、それを媒質の力学的理論において統一的に説明しうるのがどうか理論化の過程で課題となっていたのである。

通常、科学理論の形成過程を述べる際に、仮説→モデル→検証→理論の修正というフィードバックサイクルが述べられるが、しかし、その個々のステップの中にも同様な小さなステップが積み重ねられていて、自然科学では、経験と理論との関わりが常に意識されながら研究活動が行われていることを見失ってはならないだろう。



### 3. Maxwell方程式の *Treatise* における表現

以下では、Maxwellが彼の最後の著作 *A Treatise on Electricity and Magnetism* において書き残した一連の彼の方程式を示す。Maxwellは *Treatise* Vol.2 の Chapter VIII–IXで、式 (A) から (L) までの12式を展開している。それらは主として成分表示で示された式であり、下記の各項目の左側にそれを示した。また、彼はIX章の最後でそれらをベクトル形式で書き直して整理しており、演算子  $\nabla$  を使った表現を使っている。またベクトルを表現するためにもわざわざ  $V.$  と書いて演算子風の書き方をしている。もっとも彼自身は、たとえば式 (A) で“ $\nabla A$  は純粋なベクトルなので  $V.$  を付ける必要はないのだが”<sup>33)</sup>などと注記していて、これが煩雑な表現であることは知っていたが、あえて丁寧に表現している。

下記では、少し見にくいだが、彼の表現をそのまま活かして  $V.$  を残しておいたものを各項の右側に示した。なお、Maxwellはベクトルをドイツ文字で表記しているが、印刷の都合上、ここではゴチックで示しているので了解願いたい。

#### (A) Magnetic Induction

$$\mathbf{B} = V. \nabla \mathbf{A}$$

$$a = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$$

$$b = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$$

$$c = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$$

#### (B) Electromotive Intensity

$$\mathbf{E} = V. \mathbf{GB} - \mathbf{A} \cdot \nabla \phi$$

$$P = c \frac{dy}{dt} - b \frac{dz}{dt} - \frac{dF}{dt} - \frac{d\psi}{dx}$$

$$Q = a \frac{dz}{dt} - c \frac{dx}{dt} - \frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}$$

$$R = b \frac{dx}{dt} - a \frac{dy}{dt} - \frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz}$$

### (C) Electromagnetic Force

$$X=vc-wb$$

$$Y=wa-uc$$

$$Z=ub-va$$

$$\mathbf{F}=\mathbf{V}.\mathbf{CB}+e\mathbf{E}-m\nabla\Omega$$

### (D) Magnetization

$$\mathbf{a}=\alpha+4\pi\mathbf{A}$$

$$\mathbf{b}=\beta+4\pi\mathbf{B}$$

$$\mathbf{c}=\gamma+4\pi\mathbf{C}$$

$$\mathbf{B}=\mathbf{H}+4\pi\mathbf{J}$$

### (E) Electric Currents

$$4\pi u=\frac{d\gamma}{dy}-\frac{d\beta}{dz}$$

$$4\pi v=\frac{d\alpha}{dz}-\frac{d\gamma}{dx}$$

$$4\pi w=\frac{d\beta}{dx}-\frac{d\alpha}{dy}$$

$$4\pi\mathbf{C}=\mathbf{V}.\nabla\mathbf{H}$$

### (F) Electric Displacement

$$\mathbf{D}=(1/4\pi)\mathbf{KE}$$

### (G) Conductivity

$$\mathbf{R}=\mathbf{CE}$$

**(H) True Currents**

$$\mathbf{C}=\mathbf{R}+\mathbf{D}$$

$$u = p + \frac{df}{dt}$$

$$v = q + \frac{dg}{dt}$$

$$w = r + \frac{dh}{dt}$$

**(I) Electromotive Intensity**

$$\mathbf{C} = (C + \frac{1}{4\pi}K \frac{d}{dt})\mathbf{E}$$

$$u = CP + \frac{1}{4\pi}K \frac{dP}{dt}$$

$$v = CQ + \frac{1}{4\pi}K \frac{dQ}{dt}$$

$$w = CR + \frac{1}{4\pi}K \frac{dR}{dt}$$

**(J) Electric Volume Density**

$$\mathbf{e}=\mathbf{S}.\nabla\mathbf{D}.$$

$$\rho = \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz}$$

**(K) Electric Surface Density**

$$\sigma =lf+mg+nh+l'f'+m'g'+n'h'$$

## (L) Induced Magnetization

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

### 4. Heavisideの方法

以下では, HeavisideがMaxwell方程式を整理した方法を示す。これはB.J.Huntが著作の付録で整理したものに基づいている<sup>34)</sup>。

$$\mathbf{B} = \text{curl} \mathbf{A} \quad (\text{A})$$

$$\text{div} \mathbf{B} = 0 \quad (\text{A}')$$

$$\mathbf{E} = -\nabla \Psi - \frac{1}{c} \frac{d\mathbf{A}}{dt} \quad (\text{B})$$

$$\mathbf{C} = \text{curl} \mathbf{H} \quad (\text{E})$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (\text{F})$$

$$\mathbf{C} = (k + \epsilon \frac{d}{dt}) \mathbf{E} \quad (\text{I})$$

$$\text{div} \mathbf{D} = \rho \quad (\text{J})$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (\text{L})$$

まず

$$(\text{A}') \text{ と } (\text{L}) \text{ から } \text{div}(\mu \mathbf{H}) = 0$$

$$(\text{J}) \text{ と } (\text{F}) \text{ から } \text{div}(\epsilon \mathbf{E}) = \rho$$

$$(\text{E}) \text{ と } (\text{I}) \text{ から } \text{curl} \mathbf{H} = k \mathbf{E} + \epsilon \frac{d\mathbf{E}}{dt} \quad \dots \text{first circuital equation}$$

つぎに, 式(B)において, 媒質が静的状態であれば  $\frac{d\mathbf{A}}{dt} = 0$  だから

$$\mathbf{E} = -\nabla \Psi$$

両辺のカールをとると,

$$\text{curl} \mathbf{E} = \text{curl}(-\mathbf{A}) - \text{curl}(\text{grad } \Psi)$$

$\text{curl}(\text{grad } \Psi) = 0$  なので

$$\text{curl} \mathbf{E} = -d/dt(\text{curl} \mathbf{A})$$

(A)(L)から  $-\text{curl} \mathbf{E} = \mu \mathbf{H}$  ..... second circuital eq.

この式で, スカラーポテンシャルおよびベクトルポテンシャルを消去し, Maxwell方程式を簡略な形にすることができた。

$$\begin{aligned} \text{div } \epsilon \mathbf{E} &= \rho & \text{curl } \mathbf{H} &= \mathbf{kE} + \epsilon \mathbf{E} \\ \text{div } \mu \mathbf{H} &= 0 & -\text{curl} \mathbf{E} &= \mu \mathbf{H} \end{aligned}$$

Heavisideは, 磁気荷(magnetic charge)  $\sigma$  と伝導度(conductivity)  $g$ を導入し, 対流(convection current)( $u \rho$ ,  $u \sigma$ )と撃力( $h_0$ ,  $e_0$ )を表す項を付け加え, より対称的で一般的な形式に整理し直した。

$$\begin{aligned} \text{div } \epsilon \mathbf{E} &= \rho & \text{curl}(\mathbf{H} - \mathbf{h}_0 - \mathbf{h}) &= \mathbf{kE} + \epsilon \mathbf{E} + \mathbf{u} \rho \\ \text{div } \mu \mathbf{H} &= \sigma & -\text{curl}(\mathbf{E} - \mathbf{e}_0 - \mathbf{e}) &= g\mathbf{H} + \mu \mathbf{H} + \mathbf{u} \sigma \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで } \mathbf{h} &= V \epsilon \mathbf{E} \mathbf{u} \\ \mathbf{e} &= -V \mu \mathbf{H} \mathbf{u} \end{aligned}$$

### III. Lodgeの生涯と業績

Sir Oliver Joseph Lodge(1851-1940)は、19世紀後半から今世紀初頭にかけて英国の代表的物理学者として名声を馳せた人物である。ランフォード・メダル(1898)やファラデー・メダル(1932)の受賞者でありPhysical Society (1899)やBAAS(1913)の会長を勤めたことなどをみれば、当時の英国科学界での彼の地位の高さを伺い知ることができる。1911-40年までの長期にわたって*Philosophical Magazine*の編集者として務めたことなども、物理学研究史上きわめて重要な貢献をした人物だということを示している。ちなみに、*Philosophical Magazine*は、Lord Kelvin, G.F.FitzGerald, J.J.Thomsonなど当時の最高の物理学者と見なされる人々が編集しており、Lodgeと同期に編集者として活躍したのはJ.J.Thomson, Jhone Joly, Richard Taunton, William Francisらである。

しかしながら、すでに第I章2節で述べたように今日のわが国の電磁気学史にLodgeが登場することはほとんどない。その理由は必ずしも明らかではないが、彼は啓蒙的な役割を果たしただけで大きな科学的貢献がないと思われることや、晩年に心靈研究にのめり込んだことなどのマイナス・イメージが影響しているとも考えられる。しかし、このようなLodgeへの評価は必ずしも妥当ではない。マクスウェリアンの一人として、あるいは初期のラジオ技術の開発者として、また厳密なエーテル実験者としても彼が成し遂げた業績は高いレベルのものだと評価できる。筆者は機会を得て1996年夏に英国にてO.Lodge資料を調査することができたが、現存するLodgeの膨大な資料からは、Hertzに先駆ける電磁波検出実験など、彼自身が先駆的な研究を行っていたことが十分にうかがえた。しかも、Lodgeはわが国の物理学研究に対しても、いくつかの点で影響を及ぼしていることが判明した。

#### 1. Lodgeの著作

(図-2)はLodgeの生涯の著作をグラフに示したものであるが<sup>35)</sup>、図から明らかなように、膨大でかつ広範な研究歴を誇っている。しかも、80歳近くまで精力的な執筆活動を続けている。刊行した業績は全部で1156点。電磁気学研究は終生の研究テーマであった。

(図-3)は、1880年から1910年の間について特に取り出してみたものである。研究内容は1900年を境に明らかに変化しており、それまで少なかった哲学や教育関連のものが大きなウェイトを占めるようになっている。これは1899年に腸チフスを患い重体に陥ったこと、1900年にバーミンガム大学学長に就任したことなどによる変化だと思われる。

1900年といえばLodgeが50歳になった年であるが、彼の啓蒙家としてのわが国のイメージはこの頃以降のイメージだといってよいだろう。長岡半太郎がLodgeの講演録から影響を受けて、これを愛知敬一に抄訳させて東洋学芸雑誌に掲載したのが明治36年(1903)であり、土星型原子モデルが*Philosophical Magazine*に掲載されてLodgeがこれを紹介したのが1904年である(VI章参照)。これ

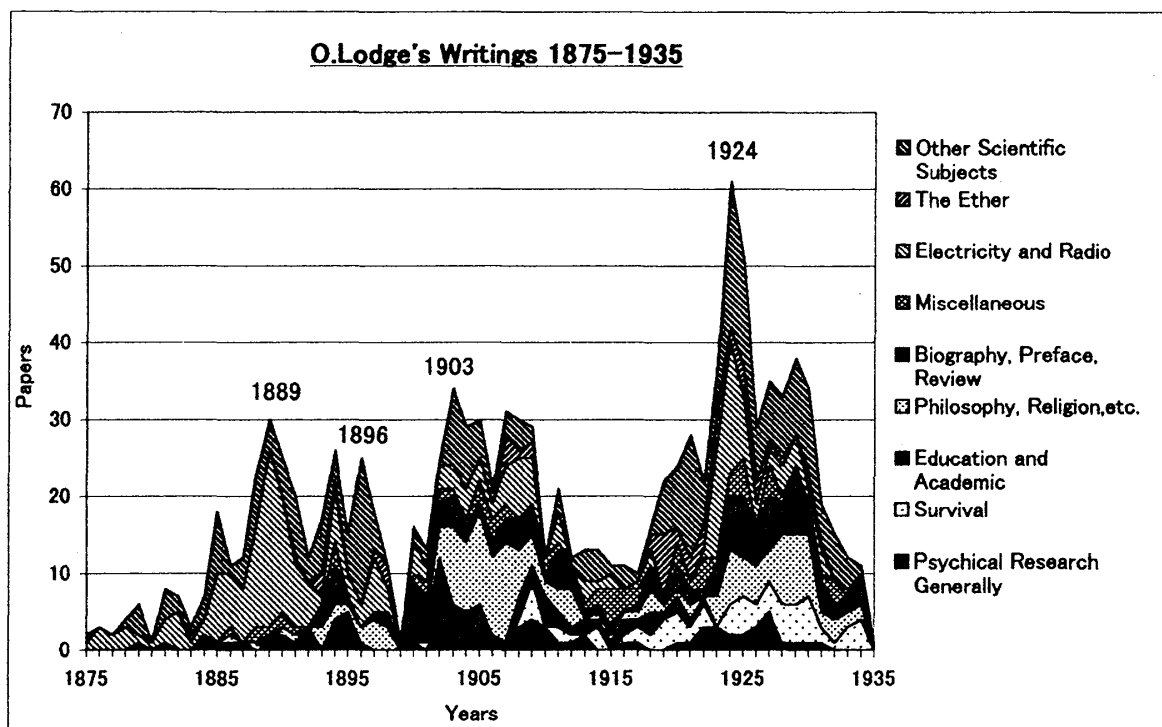


図-2 Lodgeの著作活動 (1875-1935)

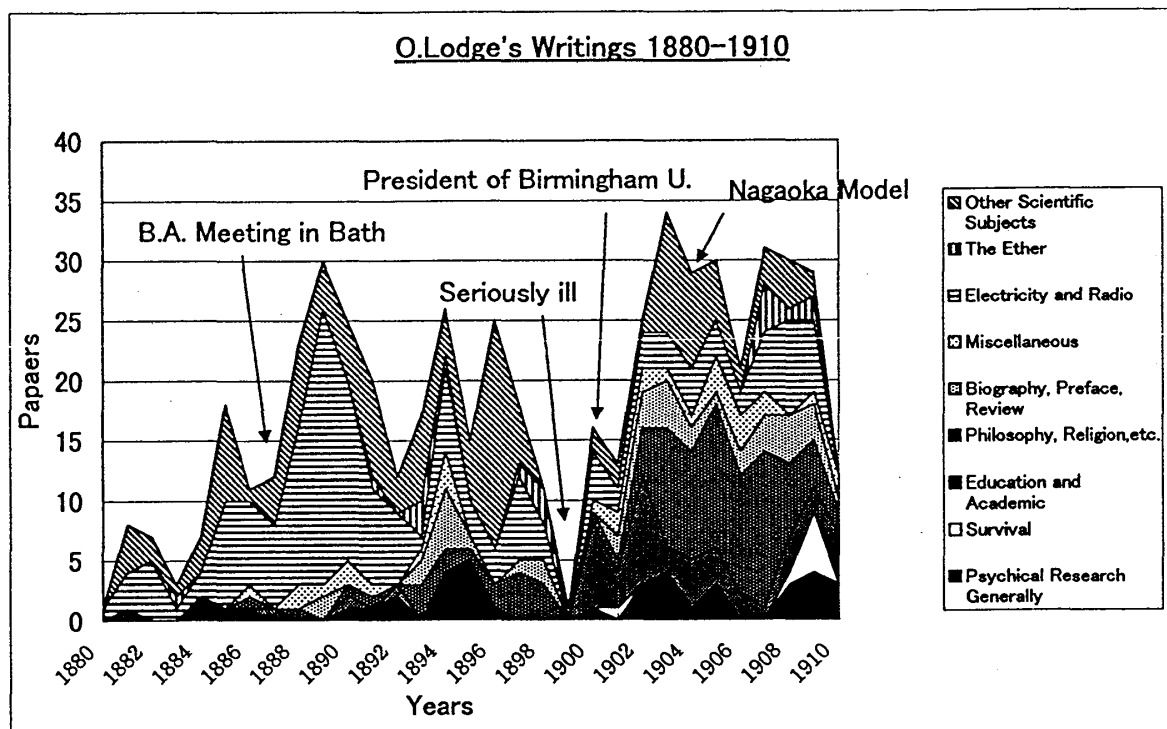


図-3 Lodgeの著作活動 (1880-1910)

らを通じて、Lodgeの名前がわが国の物理学者によく知られるようになったと思われるが、すでにLodgeの著作のウェイトが教育などに移った後であり、啓蒙的な活動が主となった時期と重なっている。

(図-4) は研究テーマ別に整理したものであるが、エーテルを含めた電磁気学研究が全体の4分の1を占めている。電磁気学以外にも幅広い著作活動を行っているが、電磁気学を含めた自然科学研究に関するものが全体の52%、伝記やレビューなど科学啓蒙的なものが10%、教育関連のものが5%にのぼり、これらをあわせて全体の7割近くを占めている。研究者・教育者としての活動が主たる分野であったことが明らかであろう。

しかしその一方で、哲学や宗教関連のものが15%、心霊研究に6%、サバイバルに6%が費やされているのがLodgeのもう一つの側面である。今日でもLodgeの名前が取りざたされるのは、物理学者というよりもむしろ心霊研究者としてであろう。Lodgeの著作の何点かはわが国でも翻訳されているが、それらのほとんどが心霊研究関連のものである。この傾向は国際的にも共通しており、彼の名前は科学史には登場しなくても、心霊研究関連で登場しないことはない。もともと、ここでは詳しく触れないけれども、彼の心霊研究はかなり誠実な態度で行われており、自然科学者としてのLodgeをも彷彿とさせるところがある。様々な条件を考慮に入れ、心霊現象だと断定できない別の可能性があることを指摘している場合が多く、真摯に分析しようとしたことがわかる。

### O.Lodge's Writings

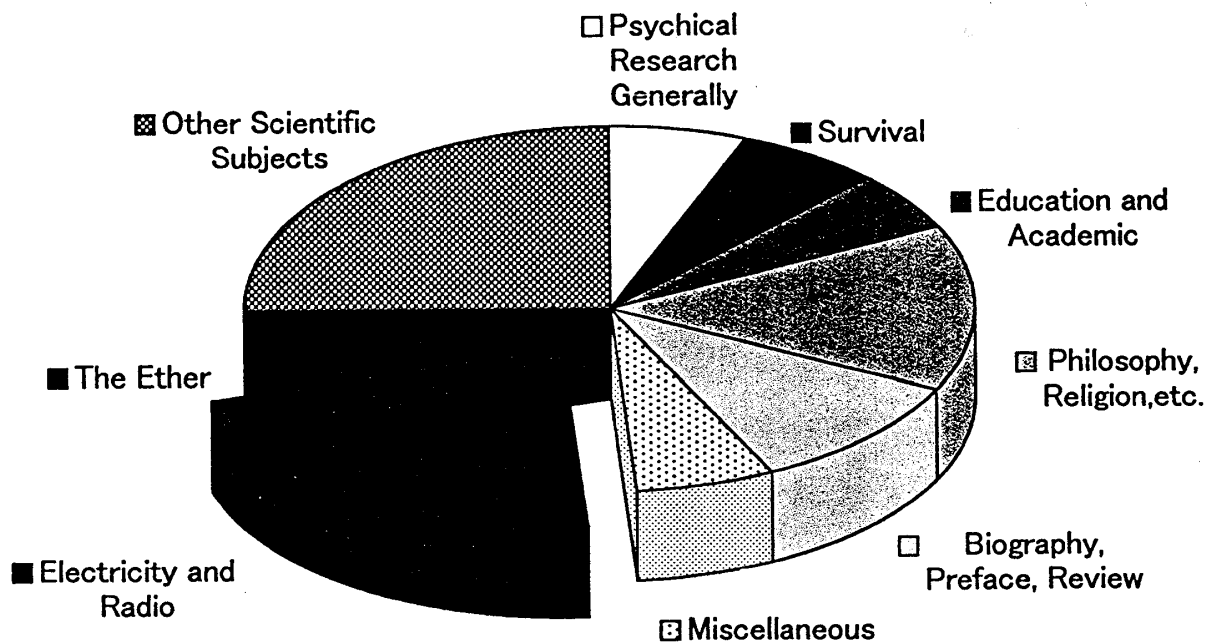


図-4 Lodgeの著作活動 (分野別割合)



## 2. Lodgeの活動

Lodgeの活動は、以下のように5点ほどに整理できる。

### (1) 電磁理論の実験的研究

- ・マクスウェル理論の機械モデル  
誘電分極モデル（プーリーと紐による）  
エーテルモデル（はめ歯車による）
- ・電磁波発生実験（電線に沿っての波の発生と検証）
- ・受信機の改良（コヒーラ）
- ・エーテル問題の実験的検証

### (2) Henry, Heaviside, Hertz, FitzGerald, Zeeman らの紹介

- ・Henry の電磁放電実験の紹介
- ・Heaviside の電磁理論の紹介
- ・Hertz の電磁波実験の紹介
- ・FitzGerald の電磁理論，エーテル理論の紹介
- ・Zeeman効果の紹介，英国でもっとも早く追試して紹介する

### (3) 啓蒙的・教育的活動

- ・大学運営・教育活動
- ・分かりやすいモデル
- ・歴史的スケッチ
- ・電磁気学をはじめとする科学の解説書，講演

### (4) 心霊研究

- ・心霊現象を信じ，実験的科学的に解明しようとする

### (5) わが国への影響

- ・長岡半太郎の土星型原子モデルにヒントを与える
- ・長岡半太郎の土星型原子モデルをヨーロッパに紹介
- ・中等物理教師への影響（村上春太郎など）

本稿では主として（1）の電磁理論研究の分野を論じているが，前節の著作分野からも分かるように，Lodgeの活動のかなりの部分は啓蒙的著作や講演に割かれている。彼の講演は非常に分かりやすく，大衆に強い印象を与えたといわれているが<sup>36)</sup>，それは啓蒙的な著作にもよく表れている。歴史的な説明を適切に入れながら，モデルや比喩を使ってイメージ豊かに書かれている（Ⅲ－3

「Maxwellモデル」参照）。

彼は多くの科学的業績を科学者社会に紹介した人物としても重要な役割を果たしている。未確定であった新しい科学理論が、彼によって光を当てられて科学者社会の中で有名になった例がたくさんある。後に詳しく紹介するHeavisideの業績はその顕著な例であるが（V章参照）、FitzGeraldのエーテル理論もLodgeによって紹介されたし、電磁波検出に関するHenryの先駆的な業績もLodgeの著作によってヨーロッパに知られるようになる（IV章参照）。Hertz実験の評価にもLodgeが大きな役割を果たしていたことはすでに述べてきた。

彼は、実験家としては卓越した技術を持っていたので、たとえばFitzGeraldが実験的確認を得たと思った場合にはLodgeに相談している。彼によるエーテル実験はよく知られた見事なものであるが、注意深くセンスの良い実験例だといつてよい（III-4「エーテル実験」参照）。

Zeeman効果の確認もLodgeがいち早く追試を行って報告したものである。*Philosophical Magazine*に掲載されたZeemanの論文 *On the Influence of Magnetism on the Nature of the Light emitted by a Substance* には、“Prof.Oliver Lodge, F.R.S.紹介。そのさい、放射スペクトルとそれらの偏光について紹介者は著者の結果を実証したという注意を添えた”<sup>37)</sup>という脚注が付けられている。次の号に掲載された2重線・3重線論文 *Doublets and Triplets in the Spectrum Produced by External Magnetic Forces I* には、同様にLodgeの紹介である旨の脚注とともに、Zeeman自身が次のように付記している。

この論文で述べた観察結果をLodge教授に伝えたところ、彼はすでに自分でそれらの現象のいくつかを知っていたことを知らせてくれた。彼は特に線が2本に分かれるのを観察し、そのことを5月20日のRoyal Societyの夜会で説明していた・・・（その評価や目的は）私の観点とは違っているので、私は元の形のままで論文を発表することにした。その内容の一部についてはわれわれ両者が独立に観察していたことが判明したのではあるけれども<sup>38)</sup>

しかも論文末尾に「Lodge教授による権利放棄の表明」なる文章が添付されている。そこでは、LodgeがRoyal Societyの夜会でZeemanの発見を示そうとして、思いもかけず新しい実験結果を見出していたことについて述べており、それはZeemanの研究の“特権を侵すつもりがあつてのことでは全くない・・・私はこのことを、（私よりも）非常に興味深くはるかに完全なZeeman教授の研究を部分的に確認するものとしてここに述べる”<sup>39)</sup>と表明して、プライオリティはZeemanにあり、その現象を実験的に確かめたことを明確にしているのである。我々は、このような *Philosophical Magazine* 誌上での論文の記載態度をみると、ある種の感動を覚えずにはいられない。近年の科学論において科学者のエートス論議が盛んであつて、マーソンのエートス（公有制、普遍性、私的利益からの解放、組織化された懐疑主義）などへの疑義が出されることがあるが<sup>40)</sup>、少なくともLodgeに関して

はそれとは無縁にみえる。

長岡半太郎のヨーロッパへの紹介に対しても同じ感慨を抱く。Lodgeは、長岡半太郎の土星型原子モデルを紹介した科学者の一人でもあった（VI章参照）。アジアのまったく無名の物理学者による新しい説をまともに評価し紹介している。長岡がその論文でLodgeを引用していたことを差し引いても、Lodgeの行為はまことにオープンマインドであり、他人のプライオリティを尊重する態度に満ちているのである。

たとえ新しい科学理論を思いついても、それが科学者社会の中で流通し認められなければ理論として成立しないのだから、新しい理論の登場にとって、それを見出して紹介してもらえることこそ重要である。そのような検出の網の目から落ちて、無名のまま消え去っていった科学者も多かったことであろう。

### 3. Maxwellモデル

#### Lodgeの変位電流モデル

Lodgeは、Maxwell理論を理解するためにそのモデルを作ろうとしていた。英国科学振興協会（B A）の会合でそれを発表し、Maxwellからなかなか面白いと評価されたと伝え残されているが、それを裏づけるマニュスクリプト類は残されていない。以下は、*Modern Views of Electricity* の中で紹介されている彼のモデルである。*Modern Views*は、*Nature*に長く連載されて評判をよんだものだが、そこにはLodgeの様々なアイディアが反映されていて興味深い。

当時、Maxwell理論が分かりにくかった理由の一つは、変位電流の概念であった。コンデンサの両極板間は絶縁状態になっているのであるから、極板に電荷が蓄積されたままで電流は流れていないというのが常識であったし、事実その通りである。しかし、Maxwellは、当時電気吸収という現象が見られたことに注目し、電極間の空間になんらかの電磁氣的歪みが生じていて、それによる効果が電流と等価であるとして理論構築していた。

Maxwellの理論は、明らかに近接作用説であるが、途中の媒体が受ける電磁氣的影響の実態がどのようなものなのかは分かっていなかった。彼の電磁場観は、まだ物質から切り離されていないものであり、彼と同時代の物理学者もまた、電磁場を“物質の特殊状態”だと理解していたのであるから、この場への電磁氣的効果がどのような物質的状态によって生ずるのかは重大な問題であった。すでに述べたように、これを、物質から切り離した物理的実在と捉えたのはLorentzになるまでまたねばならなかったのである。したがって、以下に紹介するLodgeの機械的モデルもまた、このような当時のマクスウェリアンの歴史的状況を典型的に示すものだと言ってよいだろう。

## コンデンサ・モデル

Lodgeは、ライデン瓶（コンデンサ）に電荷が蓄積される様子を、（図-5）のような機械的モデルで説明した。

図中にはプーリーに沿って糸が一周しており、その途中にビーズがいくつか繋がれている。ビーズはまた、ゴム糸によって上下の木枠にとめられているが、このビーズは物質原子を示している。左下のプーリーには錘(W)がかかっているのでプーリーは右回転するような力を受けるが、それが電動力(electric motive force)であり電池に相当する。この力によって右回転する糸は電流に相当し、錘が重ければ回転する速さが速くなるが、これは電流が大きくなることを示すことになる。

右下のプーリーを押さえつけているネジ(S)は電気抵抗に相当し、Sをねじ込むことは電気抵抗を大きくするということになる。Sをねじ込めば糸の回転を阻害するが、それはつまり電流量を小さくすることになるわけである。木枠内のビーズは、糸が右回転すれば右向けに曳かれる。しかし上下に止められているので、その場から離れることはない。上下に止めてある糸はゴムなのでゴムの伸び分だけは右側にずれる（図-6 参照）。ゴムの強さは誘電体の静電容量(C)に匹敵し、このずれた状態が電気変位状態だというわけである。

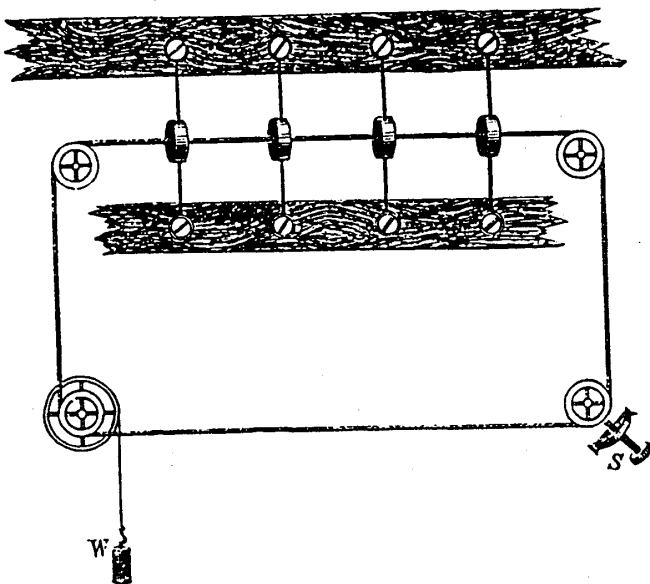


図-5 Lodgeのコンデンサモデル

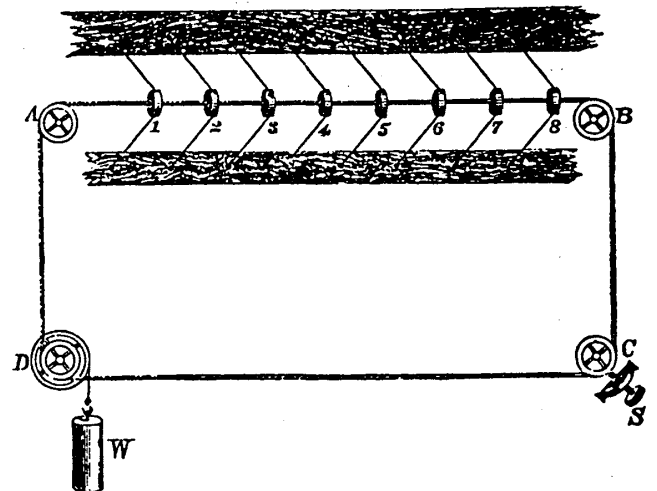


図-6 電気変位

彼は、このようなアナロジーを使って放電現象をも説明できた。それが次の（図－7）である。

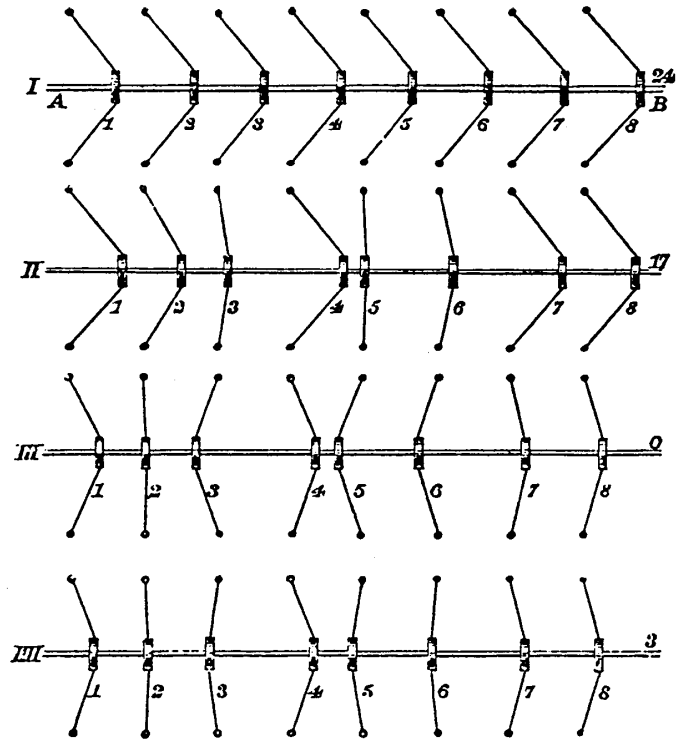
（図－7）の I では8つのビーズが曳かれているが、それぞれ正位置から3だけずれているとすると、合計で24のズレ（変位）が生じているわけである。これはいわば24ボルトの電圧がかけられていると解釈すればよい。さて、IIではビーズいくつかが戻って17の変位に変わっている。これは部分的に内部放電した結果である。しかし、回路全体は絶縁されているので電荷は全体として保存されていると仮定されている。

放電の瞬間、電気の突進で力はゼロとなるが、これがIIIの状態である。ビーズ3や5、6はスリップして逆向きに変位してしまっている。しか

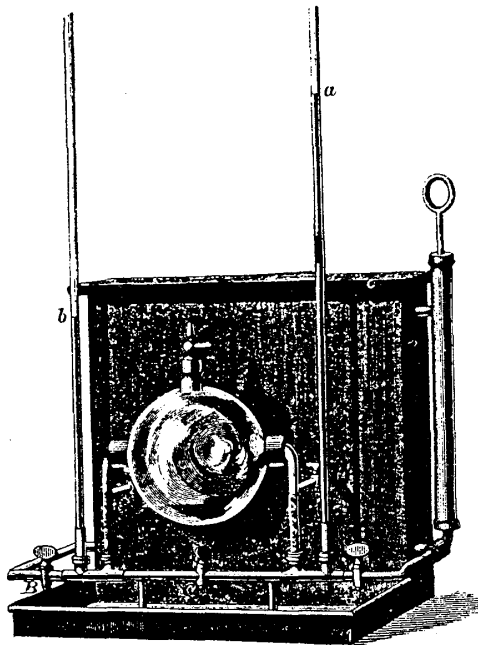
し、その状態は次にはまたゆっくりと元に戻る。これはresidual charge（残留電荷）として知られている動電力が、可動なビーズを元の方に変位させるもので、IVには全体として3の変位となった状態が示されている。

このモデルは、アナロジーとしてはよくできている。しかも目に見えない場の状況を手に取るように見せているわけで、これで説明されると分かった気になるであろう。Lodgeは、このようなアナロジーをうまく使いながら、分かりにくい物理概念を説明することに長けた人であった。

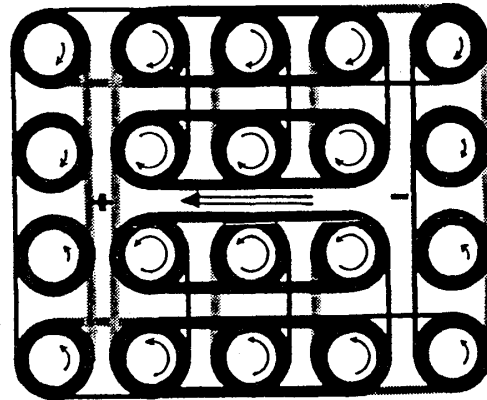
Lodgeは、他にも（図－8）のようなモデルなどを工夫し、実際にそのような装置を作成してみせている。LodgeばかりでなくFitzGeraldも（図－9）のようなモデルを考えている。マクスウェリアン達が、Maxwell理論を理解するために工夫していた様子がわかるが、そこにはやはり抽象的な物理概念を理解するには、一度はイメージ化を行わなければならないことがよく現れているといつてよいだろう。



図－7 放電のしくみ



図－8 Lodgeのライデン瓶モデル



図－9 FitzGeraldのモデル

#### 4. 電磁波検証実験

##### 1879年のアイディア

LodgeとHertzによる電磁波検出実験は、Maxwell電磁理論を確立する上でもっとも重要な役割を担った。Hertz実験については、すでに多くの紹介や分析がなされているが、Lodgeの実験については紹介されることが少ない。

Lodgeが電磁波検証実験の可能性について検討し始めたのは、1879年8月である。彼はSheffieldのBAにおいて、彼が考案したエーテルの歯車モデルを使うことによって“光が発信によってえられる”と述べたと、後にLarmorへの手紙の中で述べている。

私が思い出すかぎりでは、それは次のような趣旨だった。私の静電モデルでは、正負の電気がいつも反対のことを行っていたのでエーテルのずれ（切れ目 shear）が静電エネルギーを説明するように、この反対の作用が、回転運動に関しては反対方向に回転している「はめば歯車 cogwheels」をギアアップするかのようにさせるだろう。それゆえに、攪乱はどこかの部分がねじれた時に、ゆっくりと広がってゆく。そしてここから光は発振によって生ずるだろう<sup>41)</sup>

Lodgeは1879年8月3日に始まる実験ノートにいくつかのアイディアを書き留めており、“Electromagnetic Light”と表題が付けられていた。彼の自伝には、この当時、助手のEdward E. Robinsonと共に研究して、ライデン瓶の放電が発振的であることを発見したことなどが語られている<sup>42)</sup>。

実験ノートには、1880年2月19日から22日の間に“光の放出を電磁的に得るため、高いオーダーの誘導電流を得るように、コイルのセットをアレンジしたらどうか”というアイディアが書き込まれており、光の周波数で放出をさせるためには120個のコイルのカスケードのようなものが必要だと計算されている。さらに次のように書かれている。

たぶん、電流はライデン瓶から放電させるほうが良いだろう。これは、それ自体、発振的なのだ。・・・うすいマイカのコンデンサと最後のコイルをつなげば、光を放出するにちがいない。あるいは、ライデン瓶コンデンサのチャージを使う。放電している瓶は光を放出する。まさにこれだ<sup>43)</sup>

彼は、同じ考えをFitzGeraldへの手紙の余白に書き込んだ。“私は、コンデンサの単純な放電がこの種の光を放出させると思う。この放電は振動的なのだから”<sup>44)</sup> これは、まさに先見の明であった。Huntはこれについて次のように述べている。

実際、コンデンサの放電は後にFitzGeraldによって擁護され、Hertzによってまさにこの目的のために使われた。Lodgeは1879年に、まったくそれに近づきつつあったのである。<sup>45)</sup>

しかし、結局Lodgeは、これに取りかからなかった。当時はFitzGeraldがまだ否定的であったからである。Lodgeは優秀な実験家であったが、理論的な面ではFitzGeraldを尊敬しており、常に彼の意見を参考にしていた。したがって、FitzGeraldが批判的な見解を持った場合には、やはりそれを無視することはできなかったのである。しかも、すぐに彼はリバプール大学物理学教室の初代教授として多忙な毎日を過ごすことになり、このアイディアの実現に十分時間を割くことができなくなった。これらの実験が再び光を当てられるのは1888年になってからである。

## 1888年の実験

1888年になって、Lodgeはロンドン技術協会（The Society of Arts in London）から講演を依頼された。それは南アフリカで避雷針の建設を行ってきたロバート・マン博士の遺産が協会に寄付されたのでそれを記念したものであった。Lodgeはこのために、ライデン瓶を利用した火花放電実験を準備したが、これが電磁波放電実験となったのである。

Lodgeが最初に電線上の波の兆候を見たのは1888年2月であった。その時彼は alternative-path（稲

妻の別の通り道) の様々な場合を試していたが、次のことに気づく。短い線を通してライデン瓶が放電すると、瓶につけられた自由端とそこから越えて離れた所との間のギャップを大きなスパークが飛ぶのである。それどころか、スパークは線の長さを調節すると弱くなったり強くなったりするのである。それは共鳴が含まれていることを示唆していた (図-10)。

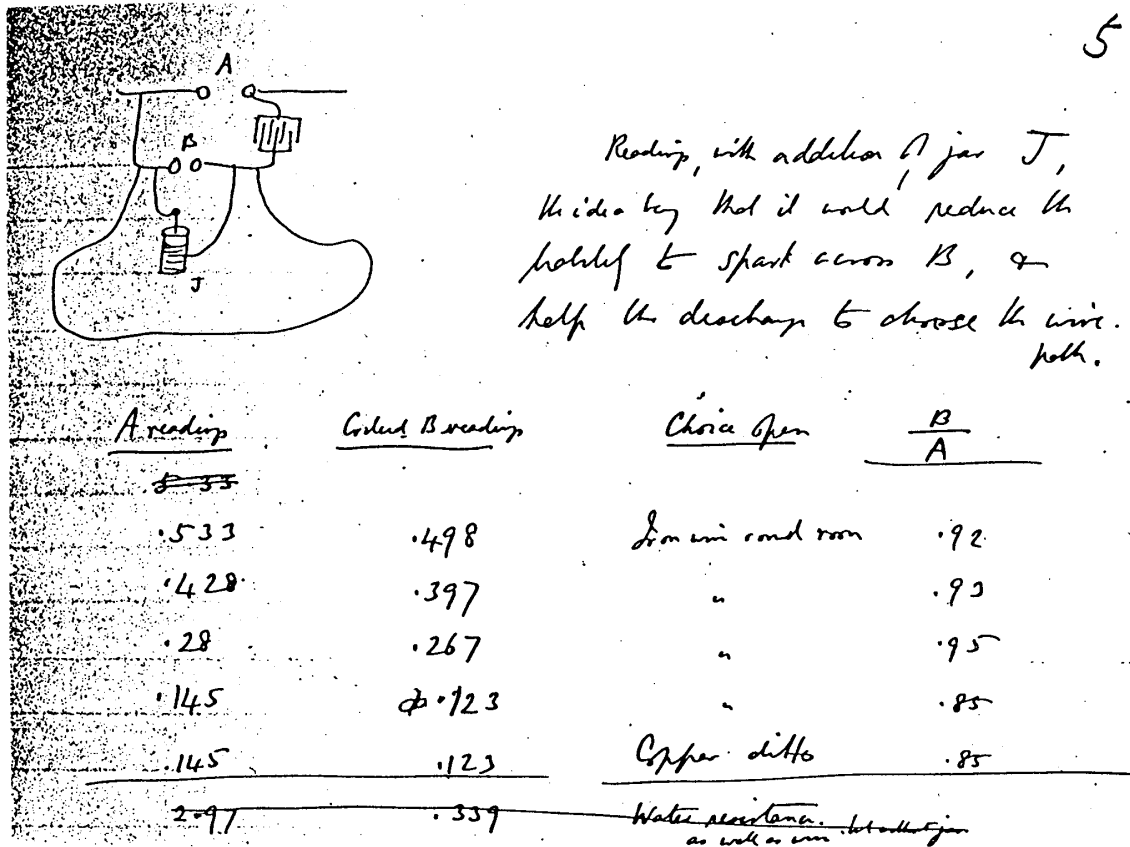


図-10 Lodgeの実験ノート (1888年2月)

(リバプール大学図書館のご好意による)

彼の若い仲間であったA.P.ChattockにつつかれてLodgeは気づく。放電がエーテル中に電磁波を放出していて、それはまさにFitzGeraldが1883年に理論的に予言したとおりであった。これらの波は電線に沿って空間中に波となってわき上がっていたのである。彼は後に語っている。

まったく何の考えも計画もなしに調整することをふと思いついた。それは私がずっと考えてきた正にその波の証拠を与え、その波長を測定することを可能にした。前には計画した方法ではなかったのだが。<sup>46)</sup>

自由端でのスパークは、波が反射したような“跳ね返り recoil kick”によっていた。Lodge はマン・レ



クチュアの第二講義で、もし線の長さと放電の発振時間を適切に調節すれば、定在波のパターンができてスパークがまったく劇的になることを示した。そして後に、長い線と強い放電で線の周囲の空間が実際に白熱しており、そのために暗くした部屋の中で波の節 (nodes) と腹 (antinodes) をまるでそれが紐の波であるかのように選び出すことができることを発見したのである。

Lodgeはマンレクチュア後も実験を続け、6月に*Philosophical Magazine*に投稿 (On the Theory of Lightning Conductors) し、そこで電磁波伝搬についてHeavisideを引用しつつ、“alternative path”と“recoil kick”実験を詳しく説明した。コンデンサの放電は“(波長は数メートルであつたけれども) 周囲の媒体を攪乱し、光の性質をもった放射を放った”と明確に述べている<sup>47)</sup>。彼は、もし適切に調節されれば自由空間でこのような波を検出できる可能性があるとも述べた。そして実験を続けて、9月のBathでの英国協会 (BA) 会合で波長測定実験の完全な説明をすると約束した。

こうしてアルプスに休暇をとってでかけたが、その車中で読んだのがHertzの電磁波検出実験の論文であった。先述したように、彼はそれにショックを受けたものの、気を取り直して旅先のチロルから、*Philosophical Magazine*誌に、先の論文の追伸を書き送り、そこでHertz論文の意義を注記したのである。一方、FitzGeraldがBathのBA年会でHertz論文に触れたのも、先に引用した通りである。

結果として、Lodgeは大きな魚を逃してしまった。しかし、Hertzを正しく評価し多くの人々に伝えた功績は消え去るものではない。

## 5. エーテル実験

Hertzの実験をマクスウェリアン達が精力的に紹介したことによってMaxwell理論の正しさが一般に認められるようになったが、電磁波を伝える媒質=エーテルがいかなるものか、ということは未解決の問題であった。物質と切り離された存在としての場の概念は、Lorentzによって成立したとされる。

当時のエーテル概念について、E.T.Whittakerは“主としてラーモアの影響により、19世紀の終わりのころには、エーテルは絶対空間中に確定した位置をもつ実体と考えられるような要素からできているのではなく、「非物質的な媒質 (sui generis)」であることが広く認められるようになってきた”<sup>48)</sup>と述べている。

ところで、Lodgeの *The Ether of Space* (1909)を見ると、その序文に、Maxwellのエーテル概念と“意見を異にする物理学者はほとんどいない there are few physicists”<sup>49)</sup>と書かれている。この場合のMaxwellのエーテル概念とは、エーテルは物質的なもの (material substance or body) だという意味である。Lodgeは、Maxwellがブリタニカに書いた Ether<sup>50)</sup> の言葉をそこにきちんと引用しているから、これは間違いない。ここで、few と書かれていることは注目に値する。Lodgeのことは、今しがた見たような電磁気学史の通説にまっこうから反している。この当時、Lodgeは、BAASやロイヤル・ソサエティの会長を歴任した英国物理学界の大御所というべき人物となっていた。多くの啓蒙

的物理書を書いて英国人の物理学知識に大きな影響を与えた人物だといってよい。しかも以下に見るように彼はこのエーテル問題に関しても見事な実験を工夫して、マイケルソン・モーリーの実験が呼び起こした議論に関わり、相対論の出現に大きな役割を果たした人物である。したがって、Lodgeの言葉にはかなりの正当性があるとするほうが自然であろう。だとすれば、これまでの電磁気学史は再検討されなければならないことになる。はたしてどうなのか、今後の検討課題としておきたい。

さて、19世紀のエーテル概念では「動いている物体の近くのエーテルは、物体とともに移動するのか」ということが議論されていた。周知のように、1887年のマイケルソン・モーリーの実験は、地球に対するエーテルの相対速度を検出できないことを示していたが、それは当時では、上の問いへの肯定的な答えを提出したものだと思なされた<sup>51)</sup>。しかし1893年、Lodgeはじつに巧妙な実験を工夫してそれを否定したのである<sup>52)</sup>。それは高速回転する2枚の平行円盤間の空間を伝わる光線の干渉実験であった。(図11～14)はその実験装置を示している。(図-11)は、回転円盤を駆動する部分であり、上端に円盤が取り付けられ、大きな石の上にボルトで固定されるようになっている。(図-12)は回転円盤を囲んで、光の干渉を測定する部分であり光を覗くスコープや反射用のミラー、コリメーターなどが見える。(図-13)

はその部分を上から見た図、(図-14)は装置の全体図である。観測装置が回転による振動の影響を受けないように、駆動部分と観測装置とが注意深く分離されている構造がよく分かるであろう。

実験の詳細については省略するが、その結果は、*Philosophical Transaction of the Royal Society* の1893年、97年にかなり詳細に書かれている。得られた結果について、たとえば、次のように述べられている。

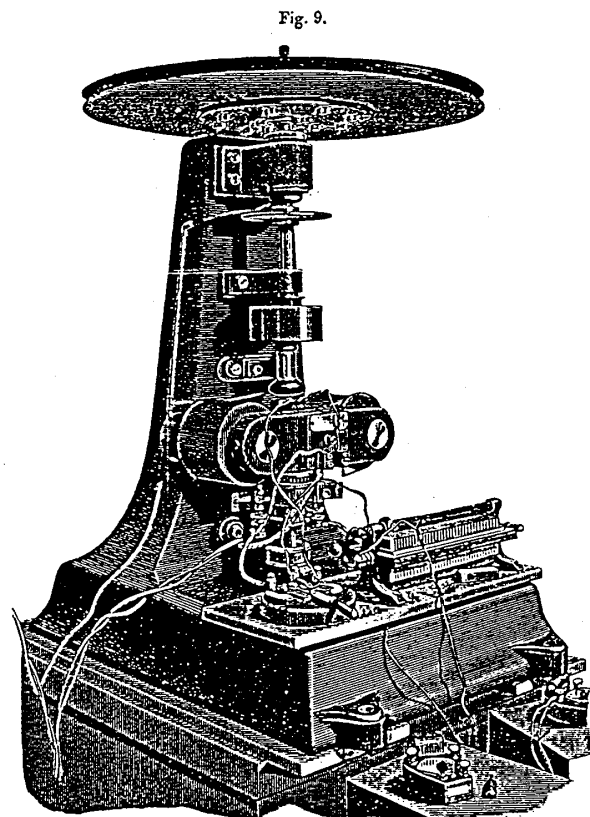
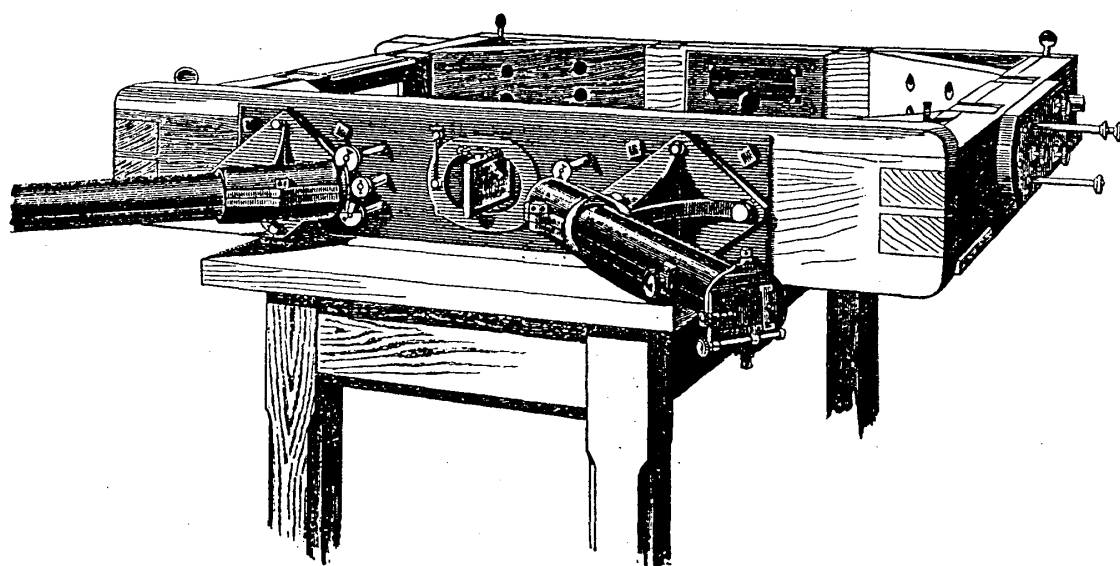


Fig. 9.  
Whirling machine for ether experiment, with pair of steel disks, 1 yard in diameter. From a photograph taken during preliminary tests, before it was bolted down to stone pier. Full voltage is always supplied to the field magnets, variable resistance is in armature circuit only. The brass tube conducts away surplus oil. Drawings of the machine are given in Plate 32.

図-11 エーテル実験装置 (円盤駆動部)



View of the optical frame, supporting the mirrors, telescope, and collimator: detached from its position round the steel disks, where it is shown in fig. 11.

図-12 回転円盤の観測装置

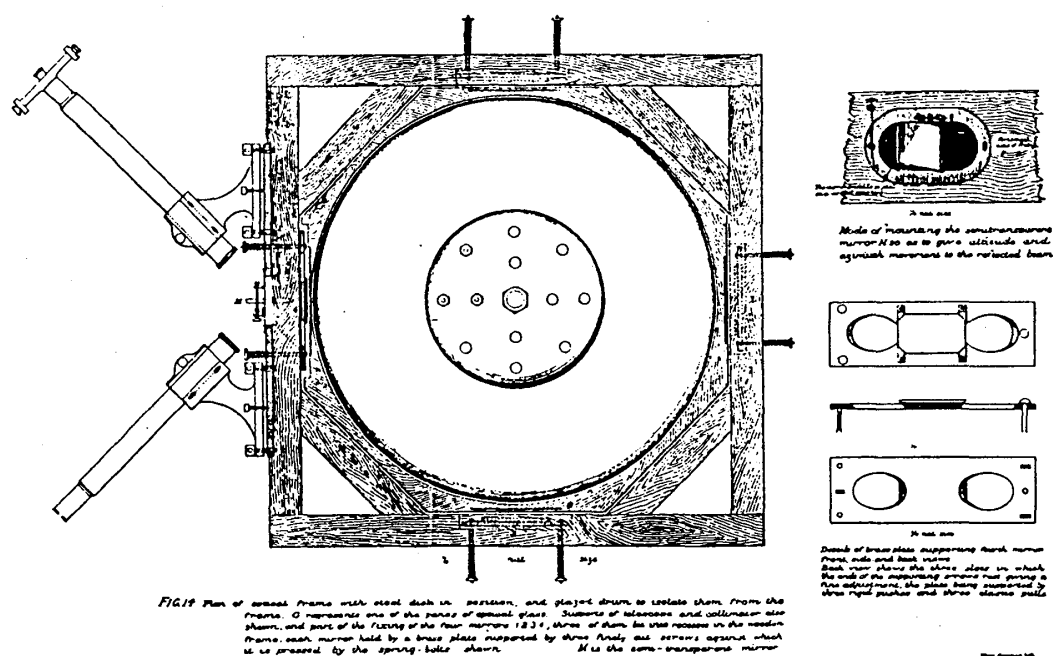


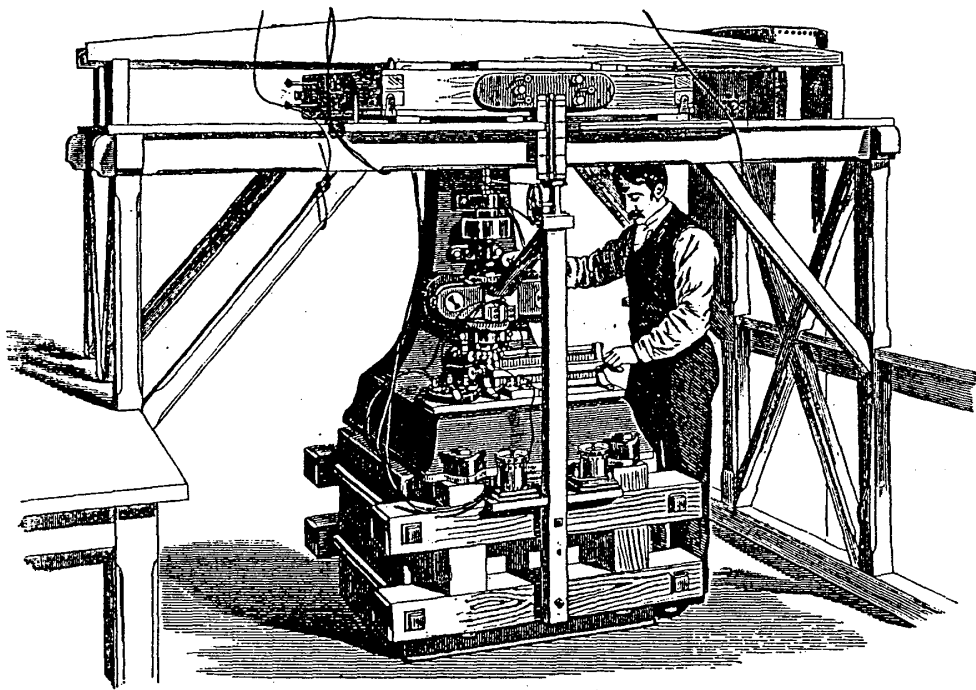
図-13 円盤回転部

私は次のことを確信する。ディスク間のエーテルは、この運動によってまったく影響されな  
いか、あるいはたとえ影響されても、それは1000分の1よりも小さい。同時に、厳密な証明  
に関して言えば、私は次のように主張したい。1インチ離れてそれぞれ動いている二つの鉄  
製円盤の間の光の速度は、増加しないし、あるいはその速度の200分の1ほどにも減少しない。

53)

このように、Lodgeはエーテル概念の議論にも深くかかわり合っているのだが、さらに、FitzGerald  
とLorentz間の、いわゆるLorentz収縮に関する議論にも大きな役割を果たしている。すなわち、1892  
年6月16日号 *Nature* で、FitzGeraldの仮説を紹介し、それが、マイケルソン・モーレーの実験の困  
難性を解決すると示唆したのがLodgeだったのである<sup>54)</sup>。

Whittakerは、“LorentzはこのFitzGeraldの仮定を…採用し”たと述べているが<sup>55)</sup>、Lorentz自身は  
むしろ否定している。彼は、“少し前に私が提出した1つの仮説一後になって、FitzGerald氏も同じ  
ことを考えていたのを知った”と述べて、以下のような注を付け加えている。



General view of the whirling machine, and independent support of optical apparatus, in action. The speed indicator is seen on top of front post, ammeter and voltmeter on framework. The long upper girders support the glazed drum which encloses the disks and secures the mirrors from the blast. Telescope, &c., are at back, not seen; boiler-plate screen for observer just visible. Everything independent of floor, and no contact between anything on central altar with anything on galleys framework.

図一 1 4 装置の全体図

FitzGerald氏が親切に私に教えてくれたのによれば、彼は長い間自分の講義で、この仮説を扱っていたそうである。FitzGerald氏の仮説について述べている出版物は、私の知る限りでは、Lodgeの‘光行差の問題’ (*Phil. Tras.*, vol.184, 1893) のみである。

私はここでさらに次のことをあえて付け加えたいと思う。この論文は幾多の理論的な考察のほかに、たいへん興味ある実験についての記述を含んでいる。その実験では、同一の軸に垂直に固定された2枚の鉄の円盤（直径1ヤード）を高速で回転させた。ある種の干渉計を用いて、円盤の間に存在するエーテルと一緒に回転するかどうかを調べた。回転数を毎秒20回かそれ以上に上げたのであるが、結果は否定的であった。それでLodge氏は、円盤はその速さの1/800さえもエーテルに伝えていないと結論した。<sup>56)</sup>

Lorentzは、FitzGeraldとは独立に自らの仮説にたどり着いたと主張してはいるが、あきらかにFitzGeraldの説が自分のものとそんなには変わらないことを意識している。しかも、この注の後半ではLodgeの実験を採り上げ、その実験が彼やFitzGeraldの理論にとって意義あることを明確に認めている。現在Lorentz収縮とよばれるこの仮説のプライオリティが、FitzGeraldにあるのかLorentzにあるのかは別として、この場合もLodgeが重要な役割を果たしているのが分かるであろう。

#### IV. Hertz, Lodge以前の電磁波検証実験

HertzやLodge以前にも電磁波の発生を行い、それを検出していたものがあつた。もちろん当事者たちが、それと理解していたわけではないが、後からみればほとんどHertz実験に近いところまでまっていた。ここではそれを簡単に紹介しておこう。

##### 1. Joseph Henry(1797-1878) の1842年の実験

Henryは、この年ライデン瓶の放電実験を行っていた。そこで一つの実験装置の火花放電が、垂直距離にして30フィートも離れた階下の部屋の装置に誘電効果を生みだしたことを確認した。彼は、スパークによって空間に存在する電氣的充満体（すなわちエーテル）が影響をうけ、階下の装置に誘電効果を及ぼしたのだとみなし、“引き続き実験から・・・一つのスパークが、少なくとも400,000フィート立方の空間の電気を十分に乱す”<sup>57)</sup> と述べている。このHenryの先駆的な実験はLodgeによって紹介され、更にKelvinによってHertz論文集英訳版の序文でも紹介された。

Oliver Lodge教授は、Hertzの業績との関連でいえば、Joseph Henryによって行われた古い実験に注意をうながしている。それは、それ以前におこなわれたものよりもずっと、電磁波の実

験的提示に近いものとなっている。<sup>58)</sup>

KelvinのコメントにあるLodgeの紹介は、*Modern Views of Electricity*の中で述べられたものである。Henryのライデン瓶実験の意義を紹介した後で、電磁波検出実験も行っていたことを次のように述べている。

Henryのおなじメモアールから今一つ抜粋しなければならない。しかもそれはもっとも興味を惹くものである。それは彼が、いかにHertzのえた結果のいくつかに接近しており、あるいは接近し続けていたかを示している。もっとも、たとえ彼が発見していたとしても、彼もその他の実験家たちの誰もその本当の意義を見抜くことはできなかつただろうが。<sup>59)</sup>

Henryの実験は、Maxwell以前に行われたものだったので、それを理解することができなかったのは当然であった。同じように、電磁波を検出した現象とみなせるが、当人達がそれを理解し得なかったものとして、T. EdisonやE. Thomson, S. P. Thompson, A. E. Dolbearなどの実験が報告されている<sup>60)</sup>。しかし、Maxwell理論以降に行われていて、もっとも印象深いのがHughesの実験である。

## 2. David Edward Hughes (1831-1900)の実験

Hughesは、1879年の秋、インダクションバランスの実験中に、検出器として使っていたベル電話機の回路の接触不良によって奇妙な現象に出会った。当時のことばでいえば「extra current 過剰電流」だが、電流が阻害された時に誘導回路の中でそれが生じたのである。それは後に、Hughesが高周波整流器 (rectifier)を発見し、1次回路から放出された電磁波の発信を実際に検出したことを証明するものとなった。彼は、かなり離れた場所でextra currentの音を検出できたのである。

ポートランド通りの私の住居内で試した後、私のいつもの方法は、送信器 (トランスミッタ) を起動しておいて、受信機を持ってイヤホンに耳にしてグレート・ポートランド街に出ることだった。音は60ヤードまでは少しずつ大きくなり、その後は、段々と消えていって、500ヤードになると、もはや送信器の信号を聞くことはできなくなった。

(1890年の覚え書き) <sup>61)</sup>

彼は、新しい現象の発見だと信じて、1880年2月20日、W. Spottiswoode (当時ロイヤルソサエティ会長)、T. Huxley, Sir George Stokes らの前でこれを実演してみせた。しかし単純な誘導現象だろうと否定されて、仕方なく論文化することをあきらめた。当時の彼はこの現象を空気のコンダクションだと見なしていたが<sup>62)</sup>、その後、空気を伝わる電気波 (aerial electric waves) を発見していたの

だと主張した。彼がMaxwell理論に精通していたとしたら、あるいはこの実験を見たStokesをはじめとする科学者たちの中にLodgeやFitzGeraldがいたとしたら、あきらかにHertzに先駆けた歴史的な検証実験となったであろう。1879年といえば、Lodgeが電磁波の検出を如何にしたらよいのかと悩んでいたちょうどその時だったのである。ここには、Stokesほどの歴史的な大科学者であっても、まだMaxwell電磁理論を理解していなかったことが示されていると共に、科学的発見を、発見と認めうる場の重要性が鮮やかにみられる。次章でHeavisideの場合を例にして、このような場の意味を考えたい。

## V. 電磁気学確立期における Sir O.Lodge と O.Heaviside

### 1. O. Lodgeと科学の場

Lodgeは自らも一級の仕事をなした科学者であったが、同時に他人の優れた業績を正しく評価し、それを科学者社会の中に伝えることができた人物であった。このことは、我々が表面的に思う以上に重要な役割を果たしている。じっさい、科学者の発明発見といわれる事柄は、啓蒙的な読み物の中で伝えられるほど科学者個人の天才的ひらめきだけで行われるわけではない。先達の知識や仲間との討論などを通して、あるいはその時代の思想的社会的影響をうけて醸成されるものであり、その醸成を促す科学の場というものが存在する。電気のことを電場、磁気のことを磁場と呼ぶように、以下ではこれを科学場と呼ぶことにしよう。

科学場は、もちろん個々の科学者やその組織である学会、あるいは学会誌などを含んでいて、通常いわれるところの科学者社会とほとんど同義と考えて良いが、しかしそれは単にそれらを寄せ集めたものではなく、研究の捉え方や流行り廃りなどのようなある種の雰囲気をも併せ持つ文字通りの場である。この科学場が、提起された仮説を科学者社会に伝搬し、その正否を認定させる雰囲気をつくっている。したがって、たとえ後からみて正しい理論であっても、その時代の科学者社会がそれを認めなければ、それは正しい理論とはなりえなかった。アリストテレス時代の原子論しかり、地動説しかり。あるいは、J.R.MayerもA.Wegenerも当初は省みられることはなかった。歴史の中にそのような例は枚挙にいとまがないが、いま検討しようとしている19世紀後半のMaxwell電磁気学もその例に漏れるものではない。前節でみたHughesもその典型的な例の一つだといってよいだろう。

ところで、たとえ場の中に新しい理論が投げ込まれたとしても、場に振動が生じなければそこに波動は生じない。投げ込まれた理論が巨大なものなら大きな振動が生ずるだろうが、目立たない小石であるときには鋭敏な検出器と増幅器とが必要となろう。結論を先取りしていえば、Lodgeこそ、きわめて鋭敏な検出器と増幅器を兼ね備えた存在だったのである。この章では、Lodgeが Heavisideを見いだし、彼の業績を科学者社会に積極的に伝えたことによってはじめてHeavisideの名前が広く

知られるようになった経緯を紹介する。

## 2. LodgeによるHeavisideの発見

今日我々がHeavisideを良く知っているのは、彼がMaxwell理論の不備を補い、今日のような数学的形式に整理したからである。しかしHeavisideはアカデミズムとは無縁の人物であり、物理も数学も独学でマスターした一介の電気技術者でしかなかった。したがって、彼の論文もエキセントリックだと受け取られて、当時の科学界で注目したものはいなかった。その彼を見だし、彼の理論の優れていることを最初に指摘したのがLodgeであった。彼はHeavisideが優れていることを見いだすや、以下の論文の中で立て続けに彼について注記している。

(1)–(3)“Protection of Buildings from Lightning”, *The Electrician*, June 29, July 6, July 13, 1888

(4)“The Protection of Buildings from Lightning: To the Editor of The Electrician”, *The Electrician*, July 13, 1888

(5) “On the Theory of Lightning-Conductors”, *Philosophical Magazine*, Vol. XXVI, 5th series, July-December, 1888

(6) “On the Theory of Lightning-Conductors”, *The Electrician*, August 10, 1888

最初にLodgeが O. Heavisideに触れたのは、*The Electrician* に掲載された上記(1)–(3)の避雷針に関する論文(June 29-July 13, 1888)である。その中でLodgeは、Heavisideの理論的貢献に触れて彼のプライオリティを擁護した。

たとえばスキン効果に関して、“(スキン効果は) 実験的にはProf. Hughesが発見していたが、理論的にはMr. Oliver Heaviside やLord Rayleighあるいは Prof. Poyntingなどによって解明されてきたものである”<sup>63)</sup>と述べている。Heavisideの名前を最初にあげて、彼の貢献性の強いことを意図的に示唆していることが感じられるが、別の箇所ではさらに積極的に彼を評価する。

Lodgeがこの論文の中で主張した事柄の一つは、彼のライデン瓶放電実験によれば、電流は、必ずしも抵抗の低い銅線を通るとは限らず、より抵抗の高い鉄を通ったり、空気中にスパークしたりするという事実であった。これはライデン瓶による放電が高周波であるので、スキン効果によって生じた現象であるが、当時の常識に反していた。しかしLodgeは、スキン効果に関してHeaviside の“Electromagnetic Waves” (*Philosophical Magazine*, Vol. XXV, 5th series, Feb. 1888, pp.130-156) を偶然に読んで<sup>64)</sup>、Heavisideに注目するようになったのである。そして次のように言う。

I do not believe anyone could have expected this result. Possibly Lord Rayleigh might have predicted it, and perhaps Mr. Oliver Heaviside. It would scarcely become me to express admiration for the work of so great a master of science as Lord Rayleigh..., but I



must take the opportunity to remark what a singular insight into the intricacies of the subject, and what a masterly grasp of a most difficult theory, are to be found among the eccentric, and in some respects repellant, writings of Mr. Oliver Heaviside.<sup>65)</sup>

Rayleigh卿とHeaviside以外には、このような実験結果を予期できたものはなかっただろうと言うとともに、Rayleigh卿はともかくとしても、Heavisideの論文は、書き方がエキセントリックで、しかもリペラント（不愉快あるいは反発的）ではあるが、しかしその中にすばらしい洞察やみごとな理論把握などが存在していることを“指摘しておかねばならない”と述べているわけである。

Heavisideは6月のはじめにLodgeのMann Lectures 講演録の一部を読む機会があり、そこに自分が数学的に解析していたスキン効果や電磁波が実験的に検証されていることを見て驚き<sup>66)</sup>、Lodgeにその講演の完全原稿を読ませてほしいと手紙を送っていた。

(図-15) は、HeavisideのLodgeへの返事の手紙である。Lodgeから送られた論文を読んでの感想と自分のプライオリティについて述べていてなかなか興味深い。

3 St. Augustine Rd.  
N.W.  
June 27. 1888

Dr. O. J. Lodge, Dear Sir, I have just read your 2<sup>nd</sup> lecture, in the journal you kindly sent me. It seems to be a very substantial addition to our knowledge of the phenomena of sudden discharges. It also seems to me that the true explanation of some of the effects you describe is by no means self-evident. It is quite possible that such a result as the more ready action of an iron than a copper wire might turn up as the result of a small investigation. I should think very little of that, because very extraordinary results do turn up in mathematical investigations; quite unpredictable, in fact, by common reasoning, except to a man with a wonderful power of mental picturing combined with logical reasoning. (For instance no one could guess that the current in a thin tube due to briefly periodic E. in it could be zero; or that the mag. field can be made either wholly internal, or wholly external, at pleasure, by simply changing from one frequency to another.) But I have not come across such a result; and certainly would not have predicted it by general reasoning. I believe I should have declined to answer, if asked, without

Part  
IV  
Hav.

examining into the matter closely. But your 2<sup>nd</sup> lecture wants to be let soak; especially as my experience with Leyden jars is of ancient date, and I know they are queer things.

I do not in the least believe in the fall of inductivity of iron at great frequencies. (Noticed by myself, Phil. Mag. Feb. 88) (also objection) being adequate to explain the matter. It is a tempting thing, in comparison.

Did you try a fine copper wire also? I find fine iron wire coils have scarcely the least more inductance than similar copper coils. This is easy to understand, owing to the division of the iron and its place in the field. But this does not explain your result. The eminent Scientist says that S.D. is played out! Not a bit of it. Perhaps he had good reason to make the wire faster to the thought.

You have spoken of my writings in too complimentary a manner (though with some Lodge salt) that I am afraid you will think me ungrateful. Then I point out an error you have fallen into about Hughes. You may be discovered a certain fact expressed. As later you mention the fact, viz. the more the current begins. Now I know there is a good deal of erroneous ascription going on, on the part of ignorant men, who can't judge; but it is different with you, who know that Prof. Hughes, (though he is a truly great man in his way) had no more notion of how the current begins than the pump! What Prof. H. discovered was a great

図-15 HeavisideのLodge宛手紙 ( June 27, 1888)

(London大学のご好意による)

Dear Sir, I have just read your 2nd lecture, in the journal you kindly sent me. It seems to be a very substantial addition to our Knowledge of the phenomena of sudden discharges. It also seems to me that the true explanation of some of the effects you describe is by no means self-evident.

中略

My claim to be the discoverer ... is that I described it a year before the increased resistance expts\*1 as the result of mathl\*2 investign\*3 · made this claim explicitly after the H.\*4 expts\*1 & added then a clear description of the methl\*2 nature of the theory, Same as induction in Cores, to which I referred.

This was before Load R's\*5 paper, so that I had a double priority.<sup>67)</sup>

(岡本注) \*1から\*5は、以下の略

\*1 experiments \*2 mathematical \*3 investigation \*4 Hughes \*5 Lord Rayleigh's

論文の感想として“放電現象に対して大変本質的な追加をしているものだと思います”と評価し、自分のプライオリティについても、はっきりとHughes教授の実験やRayleigh卿の論文の1年前に数学的研究の結果として、スキン効果を発見していたのだと述べていることが分かる。

*Electrician* July 13号に、Lodgeの編集者宛寄書が掲載されているが、そこにはHeavisideのプライオリティについて次のように述べられている。

I am now informed that Mr. Oliver Heaviside published this fact, as deduced mathematically by himself, a year before Prof. Hughes' experiments, ... and also before Lord Rayleigh had written on the matter, and that to Mr. Heaviside, therefore, the priority is distinctly due.<sup>68)</sup>

LodgeがHeavisideからの手紙によって、よりHeavisideのプライオリティに確信をもったことがわかる。HughesやRayleigh卿よりも1年前にHeavisideが論文を書いていることを述べて、彼にプライオリティがあることを主張しているくだりはHeavisideからの上述の手紙がもとになって書かれていることが明らかである。もっとも、ここではまだそれがHeavisideのどの論文によるものかは明示されていない。それは次に書かれた*Philosophical Magazine*論文の中で示されるのである。

Lodgeはさらに文末に“数学の天才Heaviside氏は、Hughes教授と同じくすばらしい。私は彼がまもなく本当に認められるようになることを期待したい”<sup>69)</sup>とわざわざ付け加えている。

Lodgeは、この後すぐに*Philosophical Magazine* にも重要論文を発表するが、その中でHeavisideの当該論文が*Electrician*の1885年1月号のものであることを示して彼にもプライオリティがあることを明確にしたのである。

That a condenser discharge is oscillatory has been known ever since 1858, ... Quite recently it has been recognized, first quite explicitly perhaps, by Mr. Heaviside in the '*Electrician*' for January 1885, that rapidly alternating currents confine themselves to the exterior of a conductor...<sup>70)</sup>

しかもこのパラグラフへの脚注で、Heaviside以前にもWilliam Thomson他の科学者に類似の言及があることを記して、Heavisideがこの理論の最初の発見者であるわけではないが、それらのどの言明よりも1885年のHeaviside論文のほうが明確であると述べるのである<sup>71)</sup>。

O. Lodgeは、この論文の他の箇所でも彼に触れている。まず導線の単位長さあたりの静電容量を、わざわざ“Heavisideが言うところのパーミタンス”<sup>72)</sup>と言い換え、抵抗の小さい長い線で周波数が高い場合の伝送波の方程式を導いた際にも、より一般解はHeavisideが扱っていると注記した<sup>73)</sup>。

Lodgeのこれらの論文は、技術者協会の記念講演 (Mann Lecture) のために準備したライデン瓶による電磁波放電実験に関するものであったが、結果はライデン瓶による放電が回路の別端でスパークを起こしたことを明確に示しており、彼はそれを回路に沿って生じた電磁波によるものだと認識していた。しかも生じた電磁波が光と同等の性質を持つことも指摘しており (III-4 参照)、これは今日でもHertzの電磁波検証実験とほとんど同じ到達点に達した実験であったと評価されているものである (I-3 参照)。

*Electrician*誌は8月10日号の巻頭ノートにおいて、このLodge論文の重要性を訴え、かなり忠実なアブストラクトを掲載して読者に注意を促した<sup>74)</sup>。したがって多数の読者がこれらの論文を熟読しており、その影響は決して小さくなかった。この*Phil. Mag.*論文では、Hertz実験の意義に注目せよという注記までされていたので<sup>75)</sup>、ここで一躍HertzとHeavisideが英国科学界において注目されるようになったのである。

一方、Heavisideもこれに応えて、8月17日の*Electrician*誌にレターを送り、Lodgeに感謝しつつ、そこで“誰も私の論文を読んでいなかったのか”と嘆いてみせて、自己のプライオリティを主張したのである。

I was informed substantially that no one read my articles. Possibly some few may do so now, with Dr. Lodge's experiments in practical illustration of some of the matters considered.<sup>76)</sup>

これらのやりとりの結果、Heavisideの名はLodgeと共に知られるようになり、やがて *The Electrician* 誌は、巻頭ノートにおいて、“the theory of Dr. Lodge or Mr. Heaviside”<sup>77)</sup>などと記載するようになるのである (図-16参照)。

# THE ELECTRICIAN:

A WEEKLY ILLUSTRATED JOURNAL OF  
ELECTRICAL SCIENCE, INDUSTRY AND ENGINEERING.

No. 538.—VOL. XXI. FRIDAY, SEPTEMBER 7, 1888. PRICE 4D.

## NOTES.

From the opening sentences in his very admirable Presidential address in "Section G" we gather that Mr. Preece is not fully prepared to endorse the views of Dr. OLIVER LODGE on lightning-flash phenomena. The nature and extent of his antagonism will doubtless be more fully disclosed in the discussion on the whole question which is about to take place. Mr. S. A. VARLEY also, who is writing an entertaining though somewhat omnium gatherum and decidedly dogmatic series of articles in a contemporary journal, finds much to dissent from in Modern Views of Electricity as expounded by Dr. LODGE. Without proposing to take upon ourselves the task of buttressing the theories of Dr. LODGE or Mr. HEAVISIDE, we should like to offer a few remarks upon the present stage of the controversy. Mr. VARLEY goes so far as to avow his belief that "the surging of currents through lightning conductors, to which Prof. LODGE gives so much prominence, is more imaginary than real." Now, we take it that the discovery of the (sometimes) oscillatory character of the lightning flash is, if true, one of the most beautiful, and will prove to be one of the most pregnant, scientific discoveries of recent date. There is, therefore, all the more reason that it should sustain the closest scrutiny before it is allowed to take the place of an established canon of electrical science. At the present moment the history of the subject may be briefly summarised thus:—In 1847 HELMHOLTZ (*Die Erhaltung der Kraft*) proved that, under certain conditions, a condenser discharge would assume an oscillatory character, and the theorem was extended by Sir WILLIAM THOMSON in 1855. In his Dr. Mann lectures before the Society of Arts early in the present year, Dr. LODGE showed some novel experimental results dependent upon this fact; and, moreover, he proved that some of the recorded phenomena of lightning—notably "side-flash" from earthed conductors—were of the same general character (*The Electrician*, June 22nd, 29th and July 6th, 1888). In August last Dr. LODGE showed further, in the *Phil. Mag.* (see *The Electrician*, August 10th), that under certain not unreasonable assumptions, the conditions of a discharge from a thundercloud would lie within the limits which determine the existence of oscillations. This is, in brief, the basis of the deduction

quantities whose values are only assumed, as reasonably probable—though the support which is furnished by such calculations is undeniably valid so far as it goes. On the contrary, we have striking experimental verification in the shape of the artificial reproduction of known and hitherto unaccountable phenomena which are sometimes attendant on the lightning flash. The exact nature and degree of the analogy between observation and experiment affords, of course, a legitimate ground for criticism; and we think it will be admitted that in a case like this, where the natural phenomenon necessarily takes place upon a scale of incomparable grandeur compared with the laboratory experiment, that the highest value attaches to the results of direct or indirect observation. It seems worth while, therefore, to draw attention to the fact that, other things being equal, an oscillatory discharge must have a greater total duration than a direct or continuous discharge. It is true that the numerous experiments carried out by ARAGO, and by others after him, have led to the conclusion that the duration of a lightning flash is not greater than one-thousandth of a second; but, on the other hand, Dr. LODGE finds that the period of oscillation in a special case which he investigated would have been of the order of one-millionth of a second; so that, although the theory does not by any means say that all flashes are oscillatory, yet some of those observed by ARAGO might still have consisted of many hundreds of such oscillations. Perhaps Dr. LODGE or Mr. HEAVISIDE will be able to calculate the probable total duration of a visible oscillatory discharge under given conditions. The importance of the point is enhanced by the circumstance (which we recorded in our issue of the 17th ult., p. 458) that an observation recently made in France by M. TROUVETZOR furnishes ground for believing that a single flash on one occasion had a total duration of no less than three seconds at the least. We are glad to learn that M. TROUVETZOR intends to follow up the question of duration by aid of the camera, and it would seem certain that such observations would throw much additional light upon the whole question.

We are a little surprised to learn from Mr. Preece that "the engineer and the physicist are completely at variance" on the question of "What is Electricity?" If this be so we take it

図—16 *The Electrician* 編集者がDr. Lodge or Mr. Heavisideと呼び始める (下線部)

一連のLodgeの論文を読むと、彼がきわめて公正な人物であったことがわかるが、そればかりでなく、たとえばMacmillan宛Lodgeの手紙の中には、“Heavisideは優秀な物理数学者だ。ただきわめて貧乏なので書物を5冊送ってあげてほしい”<sup>78)</sup>などと書かれたものが現存しており、Lodgeが困窮状態にあるHeavisideを陰ながら援助し励ましていたことを示している。Heavisideはやがてロイヤルソサエティの会員に推挙されることになるが、推挙した第一の人物もLodgeであった<sup>79)</sup>。

もちろん、Heavisideの才能を高く評価し、それを喧伝したのはLodgeだけではない。FitzGeraldやHertzらはMaxwell理論を支持するマクスウェリアンとしてHeavisideを積極的に支援した。また、Ido Yavetzは、1889年のKelvin卿によるIEE会長講演が大きな影響力を持ったことを指摘している<sup>80)</sup>。Kelvinはその講演で、電信電話に関するHeavisideの業績をもっともavailableな解析であり、これに注目するようにと述べたのである。英国随一の科学者Kelvinの言葉としてきわめて大きな影響力をもったであろうことは想像に難くない。

Lodgeは優れた業績を正しく評価し、それを科学者社会の中に伝えることができた人物であった。

HertzやHeavisideばかりでなく、J.Henryの業績やFitzGeraldのエーテル理論、ゼーマン効果、あるいは長岡半太郎の土星型原子モデルなど、彼の眼に付いた業績を積極的に科学者社会の中に紹介している。どのような優れた業績でも、それが正しく評価され社会的に認められてはじめて歴史に残ることになる。そのような意味で、Lodgeは、科学という場の中に投げ込まれた優れた理論を、場全体に伝えるもっとも良質の波動であるかのように見える。科学の成果ばかりでなく、科学を形成する場そのものにも歴史の眼が注がれねばなるまい。

## VI. 長岡モデルとO.Lodge

『長岡半太郎伝』（朝日新聞社、1973）では、長岡の土星型原子モデルについて、“長岡は、…ロッジの通俗講演から多くの示唆を受けた”<sup>81)</sup>と指摘している。彼の土星型原子モデルを提案した第一論文は、*Philosophical Magazine*に掲載されたKinetics of a System of Particles illustrating the Line and the Band Spectrum and the Phenomena of Radioactivity (1904) である。彼はこの論文の冒頭で、土星型の原子モデルについてMaxwellの土星モデルに触れた後、“Oliver Lodge卿は…土星系について注意をうながしている”<sup>82)</sup>と書いて、Lodgeがすでに土星型モデルの可能性に言及していることを指摘している。しかし、そこでは具体的な文献名はあげられていない。

これに関して『長岡半太郎伝』では、Lodgeの論文 Electricity and Matter を愛知敬一に抄訳させた「最近の物質観」（『東洋学芸雑誌』20, No.260, 1903）を紹介して、“これが長岡の原子模型の研究に大きなヒントとなった”<sup>83)</sup>のだろうと述べている。また、次年度以降にも愛知敬一にLodgeの論文の抄訳を引き続き行わせていることなどをあげて、長岡 に対するLodgeの影響の傍証としている。しかし“ロッジの講演「最近の物質観」に相当するものはOliver Lodge, *Modern Views of Electricity*, (3rd ed., 1907) …に所収されているModern Views of Matterのみで…愛知の翻訳に用いた1904年版は残っていない”<sup>84)</sup>などと述べて、残念ながらこれらLodgeの論文の出所は解明されていなかった。

じつはこの『長岡半太郎伝』の記述は間違いであり、*Modern Views of Electricity* の1904年版なるものは存在しない。この書物は、かつて*Nature*に連載されて評判となったもので、初版が1889年に発行され、1892年に第2版、1907年に第3版が刊行されている。したがって愛知敬一が訳したものは、別のものでなければならない<sup>85)</sup>。

長岡の土星型原子モデルが登場する頃、Lodgeは論文や講演でやはり土星型モデルに触れていた。この頃の、これに関連する長岡やLodgeの論文や手紙類を以下に並べておこう。

- |                            |                    |             |
|----------------------------|--------------------|-------------|
| (1) Electricity and Matter | <i>Nature</i>      | 1902-1903.4 |
| (2) On Electrons           | <i>JIEE</i>        | 1902-1903   |
| (3) Modern Views on Matter | Romans Lecture     | 1903.1.12   |
| (4) Radium and its Lessons | <i>The 19th C.</i> | 1903.7      |

(5) 最近の物質観	東洋学芸雑誌	1903. 5. 25
(6) Larmor to Lodge	Private Letter	1904.4.6
(7) J.J.Thomson to Lodge	Private Letter	1904.3.2
(8) J.J.Thomson to Lodge	Private Letter	1904.4.11
(9) 長岡第一論文	Phil.Mag.	1904. Jan. -June
(10) Modern Views 3rd.ed.	Romans Lecture	1904. 5
(11) 最近の物質観	東洋学芸雑誌	1904. 10. 25, 11. 25
(12) Modern Views New ed. Romans Lecture		1907

長岡が、愛知敬一に訳させた1903年の「最近の物質観」(図-17)の原著タイトルはElectricity and Matteであった。それに相当するのは(1)のNatureに掲載されたElectricity and Matterであるが、その脚注によると、Bedford Collegeで行われた婦人のための講演を採録したものである。これを見ると、明確に原子模型と天体との類似を述べている。論文の最後で、アトムと電子との関係に触れて、電子はアトムの周辺を回転している、などと述べた上で、次のように記述している。

The fact is, we come to an atomic astronomy, and the atom is becoming like a solar system, or like nebulae or Saturn's rigs or something of that kind, composed of a number of small particles in a violent state of revolving motion and occupying very little of the whole space with their actual substance.<sup>86)</sup>

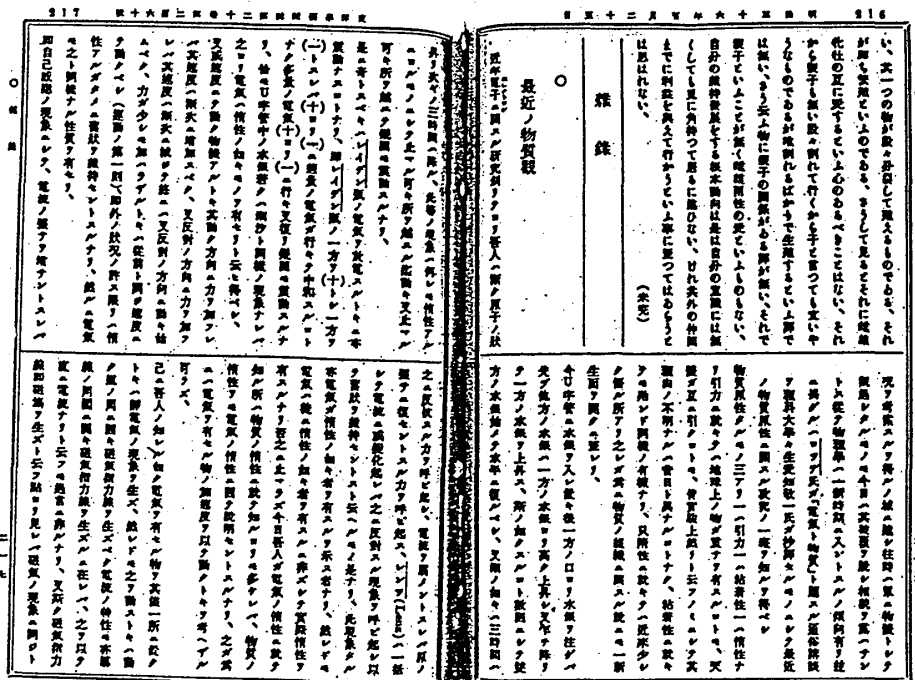


図-17 愛知敬一訳「最近の物質観」(『東洋学芸雑誌』20, No. 260, 1903)

原子と電子がその核の大きさに比べてかなり大きな空間を持っているので、それは、太陽系や星雲や土星のリングのような、激しく回転している小さな粒子からできているのではないかと述べている。長岡は、当然*Nature*を読んでいたから、ここから土星型構造のヒントを得たと思われる。実際、愛知敬一抄訳論文と比べてみると、この*Nature*論文の内容とほとんど一致する。*Nature*論文では、最初に物質の基本性質としてcohesion, gravitation, inertiaをあげて、特にinertiaの性質を詳しく紹介し、つぎにライデン瓶放電の発振的現象をinertiaに似た現象だと述べ、それに関連しながらLentzの法則などに触れてゆく。愛知の「最近の物質観」でも、“物質原性タルモノ三アリーハ引カ一ハ粘着性一ハ惰性ナリ”<sup>87)</sup>と述べて、惰性（慣性）の説明を行い、レイデン瓶（ライデン瓶）の放電現象、レンツの法則と続いて、まさにLodge講演そのままである。したがって、愛知の原論文がこの*Nature*論文であることは間違いない。

この当時Lodgeは、電気技術協会誌（JIEE）の論文On Electronsでも、土星型モデルについて触れている。

And another surprising and suggestive result is that the spaces inside an atom are so enormous compared with the size of the electrical nuclei themselves which compose it; so that an atom is a complicated kind of astronomical system, like Saturn's ring, or perhaps more like a nebula, with no sun, but with a large number of equal bodies possessing inertia and subject to mutual electric attractive and repulsive forces of great magnitude, to replace gravitation. The radiation of a nebula may be due to shocks and collisions somewhat like the X-radiation from some atoms.<sup>88)</sup>

やはり*Nature*論文と同じ趣旨であることがわかる。Lodgeがこのように原子構造にも興味を抱いていたことは、J.J.Thomsonとの私的な手紙のやりとりの中にもうかがわれる。バーミンガム大学O. ロッジコレクション中にはJ.J.Thomsonとやりとりした手紙が残っているが、1904年の書簡二通では、原子構造について議論していたことがうかがわれる。3月2日の手紙（7）はLodgeからThomsonの論文へのコメントへの返事らしく、簡単なものだが、“I am very much interested myself in problems about the structure of the atom & am delighted to find that you are interested in the same thing.”<sup>89)</sup>と書かれている。同じく4月11日の手紙（8）には、Thomsonの原子に関する見解が書かれている。

positive electrificationに関して、私は、ある程度凝集していて自身の反発でバラバラに飛んでゆかないような液体的な荒っぽいアナロジーをずっと使ってきました。しかし、いつもpositive electrificationの物理的な概念は後ろに置いておこうとしているのです。なぜなら、私は分離された実在物としてのpositive electrificationなしでやれないかと期待してきたし（まだわかっていないが）、それを粒子のなんらかの性質と置き換えられないかと思ってきたから

です。

一方、アトムのすべての観察しうる性質は、positive electrification が究極的には超流動体となるだろうとみんなが感じている（と私は思うが）粒子によって決定されます。そして粒子のある性質から我々がそのせいに行っている効果を得ることが可能になるでしょう。現在、私はこれをできないでいますが、ミッシングフォースを描くための方法として液体のアナロジーを使っています。<sup>90)</sup>

この書簡は、当時のJ.J.Thomsonの考えを知る上でも興味深いが、同時にLodgeが最新の物理学理論の発展を追いかけていて、J.J.Thomsonたちと情報交換していたことが分かってLodge研究上も貴重なものである。

さて、長岡の訳させた(11)「最近の物質観」では、Lodgeによる長岡モデルの紹介がなされていた。これに相当するのは(10)のModern Views on Matterの3rd.ed.である。これはもともとはOxfordでの講演Romans Lectureを小冊子としたもので、初版は1903年に刊行され、以下のように新版まで4回の版を重ねている。

The Romans Lecture 1903, Modern Views on Matter, Delivered in the Sheldonian Theatre, Oxford, June 12, 1903

1st ed. 1903 本文27頁 付録なし

2nd ed. 1903 同 Appendix 2p.

3rd ed. 1904 同 Appendix 2p., 追加Ap. 4p. (長岡にふれる)

New ed. 1907 本文のみ

第2版で付録をつけ、3版で付録に更に追加を行いここで長岡に触れている。1907年にはNew editionを刊行しているが、初版と同じ内容に戻したものである。本文は講演録であるからか、すべての版でまったく変更がない。イントロダクションも索引もない。新版で付録を削除した理由を、Forewordで“物理の新しい進展に伴って確実な部分と不確実な部分を正確に分離して書こうとすれば分量がもっと必要となる。よってレクチュアのみを収録しておくことにした。読者は著者のElectronsを見て補ってほしい”と述べている。

さて、第3版付録の長岡モデルに触れた箇所は以下のとおりである。

The above may be taken as representing roughly and crudely the king of tentative view held for instance by J.J.Thomson. A slightly modified view, favoured provisionally perhaps by Professor Poynting, and likewise it appears by a Japanese physicist, Professor Nagaoka, would concentrate the positive



electricity at the central point, thereby endowing it with considerable mass; but then the motion of the electrons would be different at different distances. Professor Nagaoka, however, would not consider this a disadvantage, for he treats them as forming constituents in a Saturn's ring; and there might be several such rings, corresponding to the different lines in the spectrum.<sup>91)</sup>

日本の物理学者長岡が、大きな質量をもった陽電気を中心においた修正モデルを発表したと紹介していて、それによれば、電子の動作は種々の距離で異なる困難があるが、これを土星リングの構成要素のようにみなせばそれは不利益なものでなくなり、さらに、スペクトルの種々のラインと一致するいくつかのリングがあるかもしれないと述べている。Lodgeが興味を持ったことが明らかにわかる。

もともと、彼は最後の新版ではこの付録をそっくり削ってしまったので、長岡に触れたのは3版だけであった。その後、長岡モデルをどのように評価したのかは不明である。彼は、後に*Atoms and Rays*という著作を執筆しているが、そこではE.Rutherfordの実験とモデルを紹介していて、長岡モデルには触れていない<sup>92)</sup>。長岡モデルとラザフォードモデルとをどのように評価するのかは、八木江里氏らの研究が委細を尽くしているが、欧米の書物ではほとんど触れられることがないようである。

Lodgeが長岡と交流した跡はないかという点についても調査してみたが、残念ながら発見できなかった。唯一、Lodgeと交流した日本人として村上春太郎のLodge宛書簡と、春太郎宛の返書のコピーがバーミンガム大学図書館に保存されていただけである。

ともあれ、Lodgeは思わぬ部分でわが国の物理学史にも影響を与えていたわけである。

## VII. Lodgeの業績についての最近の研究

Lodgeの業績については、わが国では皆無といってよい。しかし近年の欧米ではさまざまな書物で紹介されるようになった。以下にLodgeの著作物や一次資料以外のもので、筆者が参照した文献の一部をあげておく。

とくにLodgeに焦点をあてた研究としては、

Peter Rowlands, *Oliver Lodge and the Liverpool Physical Society*, Liverpool University Press, 1990

P. Rowlands and J.P. Wilson eds., *Oliver Lodge and the Invention of Radio*, PD Publications, 1994

R.G. Robert, *The Training of an Industrial Physicist: Oliver Lodge and Benjamin Davies, 1882-1940*, Ph.D. Dissertation of The University of Manchester, 1984

David Gregory, *Maxwell's Equation and Oliver Lodge*, Dissertation of the University of Liverpool, 1990

Gerard Francis Himes, *Sir Oliver Lodge's Unpublished Physics Book*, Dissertation of the University of Liverpool, 1992

彼の伝記として,

W.P.Jolly, *Sir Oliver Lodge*, Fairleigh Dickinson University Press, 1974

彼の著作物の悉皆調査。古いが貴重な研究で, Lodgeの著作物の調査はまずこれに依拠しなければならない。間違いも少ない。

Theodore Bsterman, *A Bibliography of Sir Oliver Lodge F.R.S.*, Oxford U.P., 1935

近年の電磁気学史や電信技術史研究のものの中でLodgeやマクスウェリアンに大きなスペースを割いているものとして,

Hugh.G.J.Aitken, *Syntony and Spark: The Origins of Radio*, Princeton University Press, 1985

C. Jungnickel and R. McCormach, *Intellectual Mastery of Nature : Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, Vol. 2, The University of Chicago Press, 1986

J.G.O'Hara & W.Pricha, *Hertz and the Maxwellians*, Peter Peregrinus Ltd., 1987

Daniel M.Siegel, *Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory*, Cambridge University Press, 1991

G.R.M.Garratt, *The Early History of Radio from Faraday to Marconi*, The Institution of Electrical Engineers, 1994

Bruce.J.Hunt, *The Maxwellians*, Cornell University Press, 1994

Heavisideとの関連では,

Paul J. Nahin, *Oliver Heaviside: Sage in Solitude*, IEEE Press, 1988

Ide Yavetz, *From Obscurity to Enigma: The Work of Oliver Heaviside, 1872-1889*, Birkhauser Verlag, 1995

Hertzに関して

Joseph F. Mulligan ed., *Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)*, Garland Publishing, 1994

Jed Z. Buchwald, *The Creation of Scientific Effects : Heinrich Hertz and Electric Waves*, The University of Chicago Press, 1994

Marconi に関連して

Peter R.Jensen, *Early Radio: In Marconi's Footsteps 1894 to 1920*, Kangaroo Press, 1994

## あとがき

Lodge やFitzGerald, HeavisideらがMaxwell電磁気学理論の再構築とその伝搬に大きな働きをしてきたことを述べてきた。Maxwell電磁気学は、このような人々の働きが駆動力となって認められていったことは明らかにできたと思う。特にO.Lodgeが、業績としては現れない部分で大きな役割を果たしていることは、これまでわが国ではほとんど指摘されていなかった。その意味では、本報告もささやかではあるが電磁気学史研究の一部に貢献できたのではないかと思っている。

理論を提唱することと、その意義を誰にでも分かりやすく伝えることとは別のことであるが、それは、どちらがより優れているなどと判定できるものではなかろう。そのどちらもが健全に機能してはじめて、科学が社会的な存在として認められることになる。科学の専門家ではない一般市民にとっては、科学の理論を正確に分かりやすく伝えてくれる人こそ大切なのだ。Lodgeは、Maxwell理論を科学者の世界に伝える大きな役割を果たしただけでなく、多くの啓蒙書を著して、科学の新しい発見を科学の素人にも分かりやすく伝えようとした人物であった。この最後の面にも十分な分析の眼が注がれねばなるまい。今後の課題としたい。

最後に、本研究の調査のために協力していただいた多くの方々にここで感謝したい。とくに、英国での調査で様々な援助をしていただいたLiverpool大学のDr. David Edwards, Dr. Peter Rowlands, Dr. David Kingの各氏、なかでもDr. Rowlandsは英国におけるO.Lodge研究の第一人者であり、Liverpool大学図書館での調査に協力していただいただけでなく、多くの有益な示唆をいただくことができた。しかも一日を割いて中世の趣の残る小都市Chesterへ案内してくれたが、そこでは日英の文化の違いや大学研究システムの違いなど、科学史研究に留まらない刺激的な対話を交わすことができた。またDr. David Kingは、Dr. David EdwardsやDr. Peter Rowlandsへの仲介をして頂いただけでなくLiverpool大学での研究活動に様々な便宜を図っていただいた。

Royal Institution of London の Dr. Frank James 氏には、英国でのマニュスクリプト資料の調査でのアドバイスをいただくことができた。とくにNRA (National Register of Archives) での資料調査を知ったことは、以後の調査にきわめて有益であった。

Liverpool大学のDavid King氏を紹介していただいた拓殖大学日野川静枝氏、Royal InstitutionのDr. Frank Jamesを紹介していただいた北海道大学杉山滋郎氏にもあわせて深く感謝したい。

O.Lodgeの資料をはじめ、多くの電磁気学文献の調査に便宜をはかっていただいたLondon大学(UCL) Science Library Special Manuscript Room, British Library Manuscript Student Room, Liverpool大学Sydney Jones Library Special Collections, Birmingham大学図書館Special Manuscript Room, London科学博物館図書館, NRA(National Register of Archives), Dublin Royal Society Library, 東京工業大学付属図書館, 静岡大学工学部図書館, 京都大学総合人間学部図書館, 大阪大学附属図書館の方々に感謝したい。

## 註

1) ヒューエルの造語が否定的な意味合いを帯びているということは、村上陽一郎氏によって何度も語られているが、そこで象徴されるような学問観の変質については、すでに、かのウェーバーが力説したところでもあった。例の1919年の講演において、彼はプラトンの『ポリティア』における洞窟の比喻を例にあげながら、あるいはルネサンス時の先駆者たちを例にあげながら、当時の学問の目的が真理を明らかにすることであったと指摘し、それが今日では異なっていることを懇切に説明している。『職業としての学問』岩波文庫、1980年改訂版）このような変化は、全体知を放棄することにもなったが、他方、特定分野のみを深く探求する専門家を登場させた。ウェーバーは、このような専門家を“みずから遮眼革を着ける”人であり、たとえばある写本のある箇所正しい解釈を得ることに夢中になる”というような“第三者にはおよそ馬鹿げてみえる三昧境”の精神を持つ人だとのべ、しかし“これのない人は学問には向いていない”と端的に述べている。(pp.22-23) 新たに登場した科学者とは、そのようなせまい枠内の専門的研究において食をはむことが可能になった集団である。

2) 19世紀をSTS革命だとするのは、筆者の規定である。通常では、科学の制度化の時代であるなどと表現されているが、本文中に述べたように、STS革命と規定するほうが実態をよりよく反映すると思われる。ところで、今日の社会の中に存在する伝統や慣習などというものは、じつはそのほとんどが19世紀を通じて形成されている。しかし私たちは、ここで生じた変化についてほとんど気づいていない。つまり、我々はほんの200年ほどの間に創られてきた社会的様式を、いつの間にか、かなり古くから存在しているものだと暗黙のうちに了解させられているのである。これについて、たとえば、ホブズボウム『創られた伝統』紀伊国屋書店(1992)を見られたい。

3) 潮木守一『ドイツの大学』講談社学術文庫、1992, pp.227-8 また、アルトホーフがどのように介入していったのか、同じ潮木氏による『ドイツ近代科学を支えた官僚』中公新書、1993 が委細を尽くしている。

4) W.Thomson, Baltimore lectures at the Johns Hopkins University (1884), Lecture XX in R.Kargon and P.Achinstein eds. *Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics*, The MIT Press, 1987, p.206

5) J.C.Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism*, 1891 (1st pub. in 1873)

6) Hertz to FitzGerald, 23 Sept. 1888, in Bruce J.Hunt, *The Maxwellians*, Cornell University Press, 1991, pp.161-2

7) 伊東俊太郎他編『科学史技術事典』弘文堂、1983

8) 広重徹「古典電磁気学と相対性理論」、『科学史研究』第52号、1959 これに先だつて、辻哲夫・恒藤敏彦・広重徹らによる「電磁場の理論の成立」(1)~(2)、『科学史研究』第34号、35号、1955 がある。この論文は、Faradayの近接作用論の成立の契機(Faradayによる静電気と動電気の統一的な把握)への重要な指摘などが含まれるが、Maxwellに至るまでの分析に力点を置いたものであり、この小論の目的にそうものではない。

9) 広重のこの論文は、電磁場の成立過程の分析を通して、直接的には直前に書かれた板倉論文(「電磁気学史の骨組」(I)~(III)『科学史研究』第47~49号、1958-59、「古典力学と電磁気学の成立過程の比較研究」『科学史研究』第51号、1959)の批判を行うことが目的となっている。したがって論文後半は板倉論文への方法論的批判に終始するのだが、その意味で、ここには広重の科学史研究の方法論が先鋭的に語られていておもしろい。彼や板倉の方法論への賛否はともかく、この時代(60年前後)の『科学史研究』誌上の熱い議論には目を醒まさせられるものがある。広重の方法論的言辭を少しばかり引用しておこう。

“一般に法則というものは偶然を通してのみ現象するものであり、とくに歴史においては偶然性すなわち、法則を現象させる条件そのものが歴史的に規定されたものである・・・したがって、歴史の分析において重要なことは、歴史における様々の偶然性のからみあいを具体的に分析し、個々の偶然性がどう働いて必然性を現出させていったかを明らかにすることではない。板倉氏は特殊性を切り捨てることにもつぱら熱心であるが、歴史においては特殊性の分析こそ大切なのである”p.6

この広重論文に対して、板倉は「プライオリティーの問題について」『科学史研究』第54号の中で“筆者の論文の読みちがいまたは誤解にもとづくところが多く、方法論の問題ではかなり見解のくいちがいがある”として、“（広重の批判を）うけ入れることができない”p.30 と述べた。なお彼は、同書55号以降に「日本における初期の弾道研究—日本初の放物線弾道—」を公表し、彼自身の方法論の正当性を、具体的な歴史研究の論文として示したのである。

10) 広重徹, *ibid.*, p.5

11) 広重徹『物理学史』培風館, 1968, p.31 および p.102

12) 板倉聖宣「古典力学と電磁気学の成立過程とその比較研究」, 『科学の形成と論理』1978 所収, p.205

13) 矢島祐利『電磁気学史』岩波書店, 1950, 同『電磁理論の発展史』河出書房, 1947

14) 広重徹『物理学史』 *op.cit.*, p.38

15) E.T.Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, Thomas Nelson and Sons, 1951 邦訳『エーテルと電気の歴史』上下, 講談社, 1976

ちなみにこの書では、当然のことながらMaxwellと彼の理論に多くのページが費やされているが、Maxwellの*Treatise*そのものへの評価は低い。“この有名な著書のなかには、電気と磁気の理論のほとんどすべての分野が含まれている。しかし、著者の意図は、できるだけ全体を一つの観点、すなわちFaradayの見方で議論することにあつた。だから、偉大なドイツの電気学者たちによって、この20年間に提出されたいろいろの仮説についての説明は、ほとんどあるいはまったくなかった。”下p.307 “（この本は成功していないと述べた後で）Maxwell特有の学説—変位電流および光と同等な電磁振動の存在—は、第1巻にも第2巻前半にも導入されなかった。また、それらに与えられた説明も、原論文に与えられた説明より完全になっていったとはほとんどいえないし、またそれほど魅力的でもなかった。”Whittakerは、このように述べた後、この書物が原論文よりも進んだ部分として「電磁場の応力」の問題と（下pp.308-13）、「物質中の光の伝搬に関する磁場の影響」（下pp.313-15）があるとしている。

16) Bruce J.Hunt, *The Maxwellians*, Cornell University Press, 1991

17) Paul J.Nahin, *Oliver Heaviside: Sage in Solitude*, IEEE Press, 1988

18) Ido Yavetz, *From Obscurity to Enigma: The Work of Oliver Heaviside, 1872-1889*, Birkhaeuser Verlag, 1995

19) Bruce J.Hunt, *op.cit.*, p.149

20) O.Lodge, The Protection of Buildings from Lightning, *The Electrician*, 21, 1888, pp.204-7, 234-36, 273-76, 302-3

21) O.Lodge, On the Theory of Lightning-Conductors, *Philosophical Magazine*, 5th series July 1888, p.227

22) Heinrich Hertz, *Electric Waves*, Macmillan and Co. London, 1893 tr. by D.E.Jones, p.xiv by D.E.Jones, p.xiv 引用されているFitzGeraldの言葉は、“これは、蓄電池が小さな抵抗を通してチャージされている時生み出される交流電流を利用するものである。2 mほどの波長の波を生み出すことは可能である”というもので、明らかに電磁波の実験的証明の可能性に言及している。

23) *Ibid.*, Introduction, p.3

24) G.F.Fitzgerald's Address BA Meeting in Bath, 1888 in *The Electrician*, September 7, 1888, pp.568-9

25) O.Lodge, On the Theory of Lightning-Conductors, *Philosophical Magazine*, 5th series July 1888. この論文は、7月7日に投稿されているが、旅行先のTyrol から7月24日に投稿した追伸が付け加えられて掲載されている。

26) Bruce J.Hunt, *The Maxwellians*, *op.cit.*, p.25

27) 本章1-2は、岡本正志・岩田年浩「科学理論の構造と科学的認識」, 『大学論集』(広島大学大学教育研究センター), 第29集, 1999 の一部を収録した。

28) これらの論文は、後に纏められた下記の論文集に収録されている。なお、本稿でもMaxwellの引用はすべてこの論文集からのものである。

W. D. Niven ed., *The Scientific Papers of J. Clerk Maxwell*, 2 vols., Cambridge, 1890

29) J.C.Maxwell, On Faraday's Lines of Force, in *Scientific Papers*, Vol. I, p.156

30) 広重徹『物理学史II』培風館, 1968, p.30

- 31) 小林道夫『科学哲学』産業図書, 1996, p.37
- 32) Maxwell to Faraday, 1861.10.19 in P.M.Herman ed., *The Scientific letters and papers of James Clerk Maxwell*, Vol.1, Cambridge U.P., 1990, pp.681-688. この邦訳は後藤憲一『ファラデーとマクスウェル』清水書院, 1993に収録されている。
- 33) J.C.Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., Vol.2, Repr., Dover, 1954, p.258
- 34) Hunt's The Maxwellians, Appendix) Hunt's *The Maxwellians*, Appendix cf. O.Heaviside, *Electrical Papers*, vol.2, Macmillan, 1892, Repr., Copley Publishers, 1925, pp.539-41
- 35) Theodore Besterman, *A Bibliography of Sir Oliver Lodge*, Oxford University Press, 1935より作成。なお Bestermanの集計には誤りがあるので修正してある。
- 36) 彼の講演の素晴らしさは、たとえば、David Edwards, A Victorian Polymath in *Oliver Lodge and the Invention of Radio*, PD Publications, 1994などに簡潔に述べられている。
- 37) *Philosophical Magazine*.(5), **43**, 1987 この邦訳は、物理学古典論文叢書に収められている。同叢書 8『電子』東海大学出版会, 1969, pp.31-46
- 38) P.Zeeman, Doublets and Triplets in the Spectrum Produced by External Magnetic Forces I, *Philosophical Magazine*, (5), **44**, p.60, 1987 邦訳同上 ( ) 内は岡本の注
- 39) *Ibid.* 邦訳p.55 ( ) 内は岡本の注
- 40) たとえば村上陽一郎『科学者とは何か』新潮選書, 1994
- 41) Lodge to Lamor, I Jan.1902, OJL UCL in B.J.Hunt, p.30
- 42) O.Lodge, *Past Years*, Hodder and Stoughton, 1931, p.183
- 43) Notebook3-13, Special Collections, SJL, University of Liverpool cf. P. Rowlands, *Oliver Lodge and the Invention of Radio*, p.42
- 44) Lodge to FitzGerald, 1880.2.26, FG-RDS
- 45) Hunt., *op.cit.*, p.33
- 46) Lodge, "Measurement of Electro-Magnetic Wave Length", *Electrician*, 21:607-9, 1888
- 47) *Philosophical Magazine*, Vol.XXVI, 5th series, July-December, 1888, p.227
- 48) E.T.Whittaker, 『エーテルと電気の歴史』 *op.cit.*, p.343
- 49) O.Lodge, *The Ether of Space*, 1909, Introduction, pp.xv-xvi
- 50) ブリタニカのために書かれたこの論文は「世界の名著」(中央公論社)『現代の科学1』(1973)に翻訳されている。該当箇所は、同書 p.375
- 51) G. ホルトン「アインシュタイン・マイケルソン・＜決定的＞実験」西尾成子編『アインシュタイン研究』中央公論社, 1977, p.63
- 52) Lodgeのエーテル実験については1996年度科学史学会年会にて報告した。岡本正志「O.Lodgeとエーテル実験」, 日本科学史学会第43回年会研究発表講演要旨集, 1996
- 53) *Philosophical Transaction of the Royal Society*, vol.184, 1893, p.777. なお, Lodge自身はその後の実験で精度を1/1000にまで高めたと述べている。cf. O.Lodge, *op. cit.*, 注(41) p.73
- 54) Whittaker, *op. cit.*, p.460 cf. D.S.B. vol.8, 1970, pp.443 by Charles Susskind
- 55) *Ibid.*
- 56) H.A.Lorentz, Der Interferenzversuch Michelson's (1895), 邦訳「マイケルソンの干渉実験」大野陽朗監修『近代科学の源流—物理学篇□』北大図書刊行会, 1976, pp.301-2
- 57) J.Henry, in W.F.Magie, *A Source Book of Physics*, Harvard U.P., 1965, p.518
- 58) Heinrich Hertz, *Electric Waves*, *op.cit.*, Introduction
- 59) O.Lodge, *Modern Views of Electricity*, Macmillan & Co., 1892, pp.428-431
- 60) Hertz以前の電磁波実験については, HenryやHughesのものを含めて, 次の文献に要領よく報告されている。C.Susskind, Observations fo Electromagnetic Wave Radiation Before Hertz, *ISIS*, Vol.55, No.179, 1964
- 61) G.R.M.Garratt, *The Early History of Radio from Faraday to Marconi*, IEE, 1994, p.28
- 62) C.Suskind, *op.cit.*, p.41
- 63) *The Electrician*, June 29, 1888, p.235
- 64) B.J.Hunt, *The Maxwellians*, Cornell University Press, 1991, p.149
- 65) *The Electrician*, June 29, 1888, p.236

- 
- 66) Huntは、この時のHeavisideについて“青天の霹靂だっただろう”と述べている。  
B.J.Hunt, *The Maxwellians*, op. cit., p.146
- 67) Heaviside's letter to Lodge, June 27, 1888, Oliver Lodge Collection, University College London Science Library
- 68) *The Electrician*, July 13, 1888, p.303
- 69) *Ibid.*
- 70) *Philosophical Magazine*, Vol.XXVI, 5th series, July-December, 1888, p.217
- 71) *Ibid.*, 217-218n, 227
- 72) *Ibid.*, p.227. Lodgeの述べるとおりパーミタンスはHeavisideが考案したことばである。
- 73) *Ibid.*, p.228
- 74) *The Electrician*, August 10, 1888, Notes
- 75) *Philosophical Magazine*, op. cit., p.230
- 76) *The Electrician*, August 17, 1888, p.480
- 77) *The Electrician*, Sept.7, 1888, Notes
- 78) Lodge's Letter to Macmillan 1891.3.10, Add Ms 55220 Corres.with Macmillans, British Lib.  
この書簡は、筆者がマクミラン・アーカイブを調査して発見したものである。欧米でのLodgeやHeaviside関連の論文でも引用されたことがないと思われる。
- 79) B.J.Hunt, op. cit., p.179
- 80) Ido Yavetz, *From Obscurity to Enigma : The Work of Oliver Heaviside, 1872-1889*, Birkhauser Verlag, 1995, p.17
- 81) 板倉聖宣, 木村東作, 八木江里『長岡半太郎伝』朝日新聞社, 1973, p.258
- 82) H.Nagaoka, Kinetics, *Philosophical Magazine*, 6, 1904, p.446
- 83) 板倉聖宣他『長岡半太郎伝』, op.cit., p.242
- 84) 板倉聖宣他『長岡半太郎伝』, op.cit., p.259
- 85) これは1997年度第52回日本物理学会にて報告した。岡本正志「O.Lodgeと長岡モデル」日本物理学会第52回年会講演概要集, 第4分冊, p.889, 19
- 86) O.Lodge, Electricity and Matter, *Nature*, Vol.67, No.1741, Nov.1902-April 1903, p.453
- 87) 「最近ノ物質観」『東洋学芸雑誌』第二十卷, 第二百六十号, 明治三十六年, p.216
- 88) O.Lodge, On Electrons, *Journal of the Institution of Electrical Engineering*, Vol.32, 1902-03, p.114
- 89) J.J.Thomson's letter to O.Lodge Mar.2. 1904, O.Lodge Collection in Birmingham University Library
- 90) J.J.Thomson's letter to O.Lodge April 11. 1904, O.Lodge Collection in Birmingham University Library
- 91) The Romans Lecture 1903, *Modern Views on Matter*, Delivered in the Sheldonian Theatre, Oxford, 3rd ed., 1904, Appendix
- 92) O.Lodge, *Atoms and Rays*, Earnest Benn Ltd., 1924